



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**DAİRESEL LABİRENT SAVAKLARIN**  
**HİDROLİK ÖZELLİKLERİ, DENEYSEL**  
**TASARIMI VE NÜMERİK MODELLENMESİ**

**Ali YILDIZ**

**DOKTORA TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Şubat-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ali YILDIZ tarafından hazırlanan “**DAİRESEL LABİRENT SAVAKLARIN HİDROLİK ÖZELLİKLERİ, DENEYSEL TASARIMI VE NÜMERİK MODELLENMESİ**” adlı tez çalışması 16/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

.....

#### Üye

Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

.....

#### Üye

Doç. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU

.....

#### Üye

Doç. Dr. Alpaslan YARAR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi tarafından 2017-ÖYP-026 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: 16.02.2022

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

## DAİRESEL LABİRENT SAVAKLARIN HİDROLİK ÖZELLİKLERİ, DENEYSEL TASARIMI VE NÜMERİK MODELLENMESİ

Ali YILDIZ

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTİ  
Yardımcı Danışman: Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ

2022, 175 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTİ  
Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ  
Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ  
Doç. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU  
Doç. Dr. Alpaslan YARAR

Mevcut barajların ve rezervuarların, güvenlik standartlarını karşılayabilmeleri için revize edilmeleri gerekmektedir. Hidroloji ve meteoroloji alanındaki ilerlemeler ve daha uzun hidrolojik kayıtların varlığı, güvenli olarak kabul edilen eski baraj ve haznelerin yenilenmeleri gerektiğini göstermektedir. Taşkın kontrolünün önemli olduğu ve maksimum su seviyesinin sınırlı olduğu mevcut rezervuarlar için, rezervuar kapasitesini arttırmanın en iyi yöntemi, gövde üzerine labirent savak inşa etmektir. Akım keskin kenarlı bir savak üzerinden serbest şekilde geçerken oluşan profile nap akımı denilmektedir. Labirent savaklarda iki nap akımının birbiriyle çakışması nap akımlarının girişimini oluşturur ve bu durum savak performansını azaltır. Bu çalışma kapsamında labirent savakların verimini arttırmak için yeni bir hidrolik dizayn ve analiz yöntemi gerçekleştirilmiştir. Labirent savaklarda nap akımlarının girişimi sonucunda debiyi azaltan bölgeleri daha verimli hale getirmek ve akımın olabildiğince savağa dik doğrultuda hareket etmesini sağlamak için bu savaklar dairesel şekilde yeniden tasarlanacaktır. Dairesel formdaki labirentlerde akım daha az kesişim noktasına maruz kalacak ve debi miktarını olumlu yönde etkileyecektir. Dairesel kesitli labirent savaklar, üçgen kesitli labirent savaklar ile aynı savak yükünde daha fazla debi geçmesini sağlayarak, savakların debi-deşarj kapasitesini arttırmaktadır. Deneysel çalışmalarda 3 farklı savak yüksekliği için ( $P=20$  cm, 30 cm ve 40 cm); dairesel kesitli savaklarda 9 farklı konfigürasyonda 27 adet, üçgen kesitli savaklarda 3 farklı konfigürasyonda 9 adet ve düz savaklarda ise 3 adet test yapılmıştır. Toplamda dairesel, üçgen ve düz kesitli savaklar için 39 adet deney yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, son yıllarda hidrolik yapıların tasarımında sıkça kullanılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tabanlı programlar da kullanılarak, yapılan deneylerin bilgisayar ortamında nümerik modelleri oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Barajlar, dairesel savaklar, fiziksel modelleme, labirent dolusavaklar, nümerik modelleme.

## **ABSTRACT**

### **Ph.D. THESIS**

## **HYDRAULIC CHARACTERISTICS, EXPERIMENTAL DESIGN AND NUMERICAL MODELING OF CIRCULAR LABYRINTH WEIRS**

**Ali YILDIZ**

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

**Advisor: Assist. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI  
Co-Advisor: Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ**

**2022, 175 Pages**

### **Jury**

**Assist. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI  
Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ  
Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ  
Assoc. Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU  
Assoc. Prof. Dr. Alpaslan YARAR**

The existing dams and reservoirs need to be revised to meet safety standards. Advances in hydrology and meteorology and the existence of longer hydrological records indicate that old dams and reservoirs that are considered to be safe need to be refurbished. For the existing reservoirs where flood control is important and the maximum water level is limited, the best method to increase the reservoir capacity is to build a labyrinth weir on the hull. The profile formed when the flow passes freely over a sharp-edged weir is called nappe flow. In labyrinth weirs, the overlap of two nappe flows creates interference between nappe flows and this reduces the weir performance. In this study, a new hydraulic design and analysis method was carried out to increase the efficiency of labyrinth weirs. In labyrinth weirs, these weirs will be circularly redesigned in order to make the areas that reduce the flow as a result of the interference of nappe flows more efficient and to ensure that the flow moves as perpendicular to the weir as possible. In circular labyrinths, the flow will be exposed to fewer intersections and will positively affect the flow rate. Circular labyrinth weirs will increase the flow-discharge capacity of the weirs by providing more flow at the same weir load as triangular labyrinth weirs. In experiments, for 3 different weir heights ( $P=20$  cm, 30 cm and 40 cm); 27 tests were carried out for circular weirs for 9 different configurations, 9 tests were carried out for triangular weirs for 3 different configurations and 3 tests carried out for linear weirs. In total, 39 tests were carried out for weirs with circular, triangular and straight sections. In addition, in this study, numerical models of the experiments were created in computer environment by using Computational Fluid Dynamics (CFD) based programs, which are frequently used in the design of hydraulic structures in recent years.

**Keywords:** Dams, circular weirs, physical modeling, labyrinth spillways, numerical modeling.

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyerek yetişmemi sağlayan, bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, çalışmama ışık tutan, karşılaştığım her zorlukta yardımlarını esirgemeyerek daima destek olan başta saygı değer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI olmak üzere, bu çalışmanın ortaya çıkmasında bilgi, fikir ve görüşleriyle çok büyük emekleri olan yardımcı danışmanım Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ'e şükran ve teşekkürlerimi en kalbi duygularıyla sunarım.

Tez izleme komitesinde bulunan ve konu ile ilgili bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Ş. Yurdagül KUMCU ve Sayın Doç. Dr. Alpaslan YARAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı destekleyen Konya Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinatörlüğü'ne (ÖYP) şükranlarımı sunuyorum.

Maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Bu tezi yazmamda büyük pay sahibi olan ve çalışmalarım süresince beni destekleyen sevgili eşim Feyza YILDIZ'a teşekkürü borç bilirim. Bu tezi kızım Beril YILDIZ'a adıyorum.

Ali YILDIZ  
KONYA-2022

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖZET.....                                                                               | iv        |
| ABSTRACT.....                                                                           | v         |
| ÖNSÖZ.....                                                                              | vi        |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                       | vii       |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                                           | ix        |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                   | <b>1</b>  |
| <b>2. DOLUSAVAKLAR .....</b>                                                            | <b>6</b>  |
| 2.1. Labirent Dolusavaklar .....                                                        | 7         |
| 2.2. Labirent Savaklarda Akımı Etkileyen Parametreler .....                             | 10        |
| <b>3. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>                                                      | <b>16</b> |
| <b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                                       | <b>30</b> |
| 4.1. Dairesel ve Üçgen Savakların Deneysel Modellenmesi .....                           | 30        |
| 4.2. Fiziksel Deney Düzeneği .....                                                      | 62        |
| 4.3. Nümerik Modelleme - Computational Fluid Dynamics (CFD) .....                       | 67        |
| 4.3.1. Geometri (Geometry) .....                                                        | 68        |
| 4.3.2. Hücrelerin atanması (Mesh) .....                                                 | 70        |
| 4.3.3. Ortam şartlarının girilmesi (Setup).....                                         | 71        |
| 4.3.4. Sonuçların alınması (Solution).....                                              | 76        |
| <b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>                                          | <b>79</b> |
| 5.1. Dairesel Savakların Deney Sonuçları.....                                           | 79        |
| 5.1.1. Savak yükü ( $H_T$ ) – Debi ( $Q$ ) karşılaştırması .....                        | 80        |
| 5.1.2. Debi katsayısı ( $C_d$ ) – Boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) karşılaştırması ..... | 86        |
| 5.1.3. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması.....                            | 91        |
| 5.2. Üçgen Savakların Deney Sonuçları .....                                             | 98        |

|                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.1. Savak yükü ( $H_T$ ) – Debi ( $Q$ ) karşılaştırması .....                         | 99         |
| 5.2.2. Debi katsayısı ( $C_d$ ) – Boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) karşılaştırması<br>102 |            |
| 5.2.3. Deneysel ve nümerik çalışmaların karşılaştırması .....                            | 107        |
| 5.3. Üçgen ve Dairesel Savakların Karşılaştırılması.....                                 | 115        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                                      | <b>122</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                   | <b>124</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                                        | <b>126</b> |
| <b>YAYINLAR.....</b>                                                                     | <b>165</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|                         |                                                                |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| A                       | : Dıştan apeks uzunluğu                                        |
| B                       | : Labirent savağın akım yönündeki uzunluğu                     |
| $C_d$                   | : Debi katsayısı                                               |
| $C_{d-Darvas}$          | : Darvas (1971) debi katsayısı                                 |
| $C_{d-Lux}$             | : Lux (1984) debi katsayısı                                    |
| $C_{d-side}$            | : Emiroğlu (2010) debi katsayısı                               |
| $C_{d-Tullis\ ve\ ark}$ | : Tullis ve ark. (1995) debi katsayısı                         |
| $C_{düz}$               | : Düz savaklar için debi katsayısı                             |
| $C_{d-Waldron}$         | : Waldron (2004) debi katsayısı                                |
| D                       | : İçten apeks uzunluğu                                         |
| E(%)                    | : Debi verimi                                                  |
| g                       | : Yer çekimi ivmesi                                            |
| h                       | : Su derinliği                                                 |
| H                       | : Düz savak üzerindeki savak yükü                              |
| $H_T$                   | : Savak üzerindeki piyezometrik yükseklik (toplam su yükü)     |
| $L_c$                   | : Bir labirent döngüsünün toplam uzunluğu                      |
| $L_D$                   | : Nap girişiminden etkilenen bölgenin duvar uzunluğu           |
| $l_c$                   | : Labirent savağın yan duvar uzunluğu                          |
| $L_{net}$               | : Savağın toplam etkili kret uzunluğu                          |
| N                       | : Döngü (göz) sayısı                                           |
| P                       | : Kret (Savak) yüksekliği                                      |
| $P_{etkili}$            | : Savağın etkili uzunluğu                                      |
| Q                       | : Debi                                                         |
| $Q_{döngü}$             | : Bir labirent döngüsü üzerinden geçen debi                    |
| $Q_L$                   | : Labirent savak üzerinden geçen toplam debi                   |
| $Q_{MAX}$               | : Labirent savak üzerinden geçebilecek maksimum debi           |
| $Q_R$                   | : Labirent savak ile aynı genişlikteki düz savaktan geçen debi |
| $R_{kret}$              | : Kret yarıçapı                                                |
| t                       | : Duvar kalınlığı                                              |
| $V^2/2g$                | : Hız yükü                                                     |
| W                       | : Savağın yerleştirildiği kanalın genişliği                    |
| w                       | : İki labirent döngüsü arasındaki mesafe                       |
| $\alpha$                | : Labirent savağın duvar açısı                                 |

### Kısaltmalar

|       |                                          |
|-------|------------------------------------------|
| HAD   | : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği        |
| ICOLD | : International Commission of Large Dams |
| CFD   | : Computational Fluid Dynamics           |
| SAT   | : Standard ACIS Text                     |
| VOF   | : Volume of Fluid Method                 |
| RNG   | : Renormalized Group                     |

## 1. GİRİŞ

Barajlar, bir akarsuyun üzerine hazne oluşturma amacıyla inşa edilen, akarsuyun akışını önleyen, geciktiren veya yönlendiren engel yapılarıdır. Suyun kullanımı ile ilgili yapısal çalışmalar insanlığın varoluşu ile başlamıştır, çünkü su bütün canlılar için önemli bir doğal kaynaktır. Suyu tutma amacına yönelik olarak bu süreç, toprak seddelerin yapımından, günümüzdeki barajların inşasına kadar sürmüştür. İnşa edilen barajlar sulama, enerji üretimi, ulaşım, taşkın kontrolü ve su ihtiyacının karşılanması gibi birçok farklı amaç için kullanılmaktadır. Farklı amaçlar için inşa edilen barajlar temel olarak, gövde, dolusavak, dip savak, su alma yapısı ve enerji kırıcı yapı gibi temel bileşenlerden oluşmaktadır. Kullanım amacına göre enerji üretim tesisleri, kum tutucu bölmeler veya arıtma tesisleri gibi ilave yapılar da içerebilmektedir.

Barajlardaki hidroelektrik santraller üretilen elektrik enerjisi, en temiz elektrik enerjisi üretim sistemleri içerisinde yer alır. Türkiye de uygun olan coğrafik yapı ve hidrolojik özelliklerden dolayı sayesinde çok sayıda baraj ve bağlama inşa edilmektedir. Bu yapılar, inşa maliyetleri çok yüksek olmalarına karşın, tamamlandıklarında ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadırlar. Barajların üzerine inşa edileceği akarsuların istatistiksel akım verileri, projelendirmeler yapılırken kullanılan en temel parametrelerden bir tanesidir.

Mevcut barajların ve rezervuarların, güvenlik standartlarını karşılayabilmeleri için revize edilmeleri gerekmektedir. Hidroloji ve meteoroloji alanındaki ilerlemeler ve daha uzun hidrolojik kayıtların varlığı, güvenli olarak kabul edilen eski baraj ve haznelerin yenilenmeleri gerektiğini göstermektedir. Mevcut dolusavaklar hazne tarafından gelen taşkın debisini güvenli bir şekilde mansap tarafına geçiremez ise, bu durum taşkınlara ve baraj yıkılmalarına sebep olabilir (Amanian, 1987). Baraj yıkılmalarına ve taşkınlara engel olmak için baraj yapısının değiştirilmesi ve daha güvenli hale getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca artan su ihtiyacını karşılamak için haznede daha fazla suyun depolanması, hidroelektrik tesisler için elektrik üreten türbinlere ek su yükü sağlamak ve rezervuarlarda taşkın kontrol kapasitesini arttırmak için birçok barajın yükseltilmesi gerekmektedir. Bundan başka mevcut barajlarda sediment birikmesinden dolayı haznenin faydalı hacmi azalarak su depolama kapasitesi düşmektedir.

Taşkın kontrolünün önemli olduğu ve maksimum su seviyesinin sınırlı olduğu mevcut rezervuarlar için, rezervuar kapasitesini arttırmanın en iyi yöntemi, gövde üzerine labirent savak inşa etmektir. Labirent savakların halihazırdaki baraj gövdelerinin üzerine

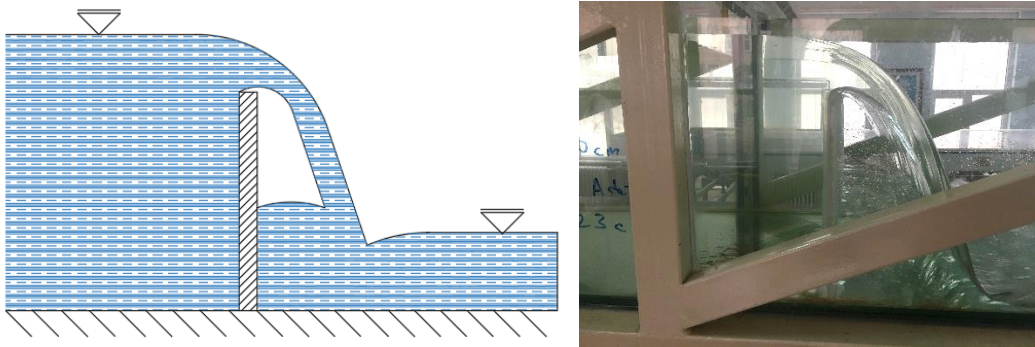
inşa edilmesi ile kret tepe kotu yükseltilerek depolama hacmi arttırılmış olmaktadır. Kret yüksekliğinin arttırılmasının yanında, labirent savaklar daha yüksek debi deşarj kapasitesi de sağlamaktadır.

Bir dolusavağın üzerinden geçecek debi, dolusavağın net kret uzunluğu ( $L_{net}$ ) ile doğru orantılıdır ve dolusavağın karakteristik şekline bağlıdır. Bu yüzden, belirli bir savak yükünde ( $H_T$ ), savak üzerinden geçebilecek maksimum debi ( $Q_{MAX}$ ) net kret uzunluğu ile sınırlanmıştır (Taylor, 1968).

Gövde üzerindeki savak yüksekliği ( $P$ ) arttırıldığında, rezervuarın su depolama kapasitesi artmaktadır. Kapaklı dolusavaklar ile de rezervuarın depolama kapasitesi arttırılabilir fakat labirent savaklar pasif savaklar olduğu için, kapaklı savaklara göre inşası kolaydır ve daha az bakım maliyeti gerektirir (Willmore, 2004).

Keskin kenarlı bir savak üzerinden akım serbest şekilde geçtiğinde oluşan profile nap akımı denilmektedir (Şekil 1.1). Labirent tipi savaklarda oluşan akım düz savaklarda oluşan akım profiline benzer olarak, mansap yüzeylelerinin havalanma durumuna bağlı olarak nap akımını oluşturmaktadır. Nap akımında su savak üzerinden döküldükten sonra alt kısmında hava bulunur.

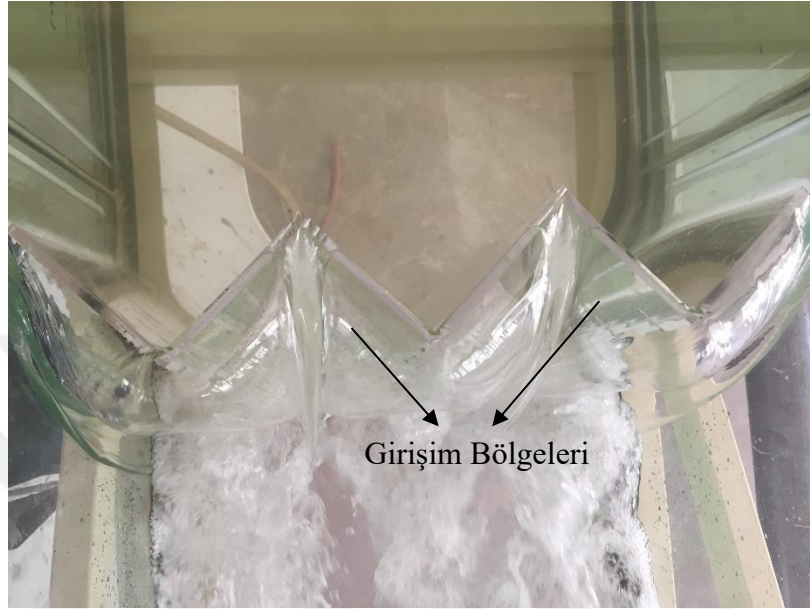
Labirent savaklarda iki nap akımının birbiriyle çakışması nap akımlarının girişimini oluşturur ve bu durum savak performansını azaltır. Nap akımlarının girişiminden etkilenecek bölgenin uzunluğu labirent savağın karakteristik özelliklerine (duvar açısı, apeks uzunluğu, döngü sayısı) bağlı olarak değişir.



Şekil 1.1. Nap akım profili

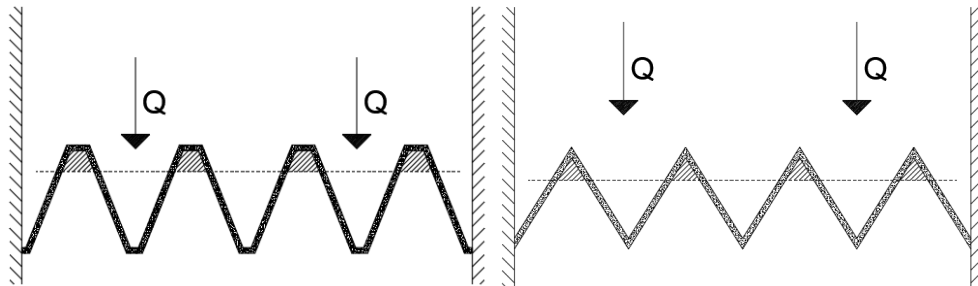
Bir savak duvarı üzerindeki akım, lokalize batma etkileri oluşturarak bitişik savak duvarı ile etkileşime girerek debi verimini potansiyel olarak etkiler. Üçgen ve trapez şekilli labirent savaklarda, sadece karşı duvarlardan gelen akımlar çarpışmaz aynı zamanda apeks tarafından gelen akımda yan duvarlardan gelen akım ile çakışır (Şekil

1.2.). Kesişim bölgelerinde oluşan akım çakışmaları naplardaki havalanma durumuna bağlı olarak değişir ve çakışmanın olduğu alan savak yükü  $H_T$ 'ye bağlı lineer olarak artmaz. Nap girişimi labirent savakların hesaplarında kullanılan etkili uzunluğu azaltır ( $L_{net}$ ).



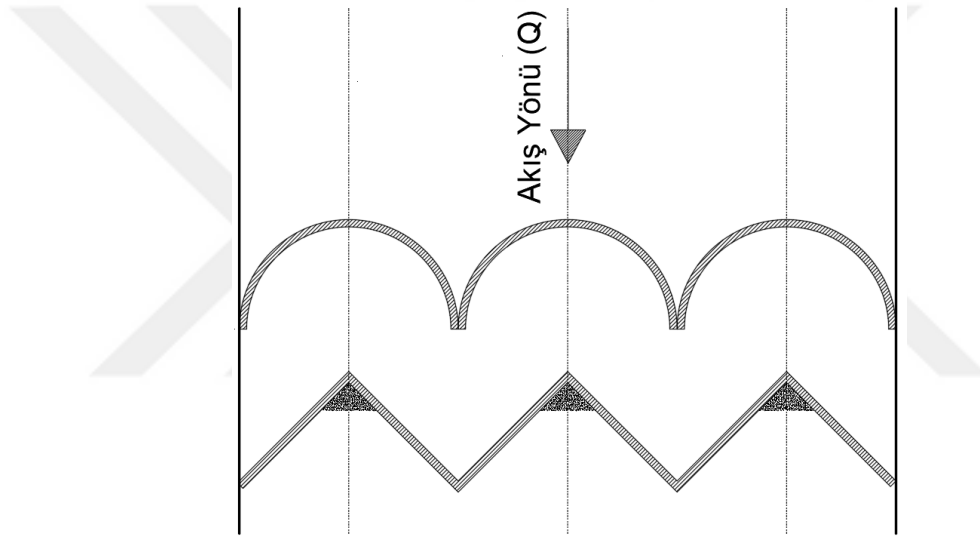
Şekil 1.2. Üçgen savaklarda nap akımlarının oluşturduğu girişim

Crookstan (2010) yaptığı doktora çalışmasında bu nap akımlarının üzerinde sıkça durmuştur ve labirent savakların farklı karakteristik özelliklerinin nap girişimlerine olan etkilerini araştırmıştır. Nap akım girişimlerinin olduğu üçgen ve trapez kesitli labirent savaklarda mansaptaki yüksek su seviyesi ve akımın mansapta düştüğü alanın dar olması nedenleriyle suyun havalanması zor olur ve bu etmenler debi deşarj kapasitesini azaltmaktadır. Üçgen, trapez ve dikdörtgen formlu labirent savaklarda kesişim noktaları, yüksek savak yükleri ve debi miktarları için bir dezavantaj oluşturmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Üçgen ve trapez labirent savaklarda debiyi azaltan girişim bölgeleri

Bu tez çalışmasında dairesel kesitli labirent savakların hidrolik özellikleri deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Labirent savaklarda nap akımlarının girişimi sonucunda debiyi azaltan bölgeleri daha verimli hale getirmek ve akımın olabildiğince savağa dik doğrultuda hareket etmesini sağlamak için üçgen savaklar, dairesel şekilde yeniden tasarlanmıştır ve test edilmiştir (Şekil 1.4). Dairesel formdaki labirent savakların bir diğer avantajı da, üçgen kesite göre aynı kanal genişliğinde daha uzun kret uzunluğu ( $L_{net}$ ) sağlayacak olmasıdır. Dairesel formdaki labirentlerde akım daha az kesişim noktasına maruz kalacak ve savakların üzerinden debi miktarını arttıracaktır. Dairesel kesitli labirent savaklar, üçgen kesitli labirent savaklar ile aynı savak yükünde daha fazla debi geçmesini sağlayarak, savakların debi-deşarj kapasitesini arttırmaktadır.



Şekil 1.4. Üçgen ve dairesel savaklar

Bu çalışmada ilk olarak dairesel savaklar ile ilgili yapılan deneylere referans oluşturması amacıyla üçgen kesitli ve düz savaklar ile deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin amacı, dairesel savakların performansını daha doğru bir biçimde değerlendirmek ve dairesel savakların avantajlarını ortaya çıkarmaktır.

Deneysel çalışmalarda 3 farklı savak yüksekliği ( $P=20$  cm,  $P=30$  cm ve  $P=40$  cm) için; 27 adet dairesel savak, 9 adet üçgen savak ve 3 adet düz savak için testler yapılmıştır. Toplamda dairesel, üçgen ve düz kesitli savaklar için 39 adet deney yapılmıştır.

Bu çalışmada, eskiden yapılan çalışmalar da göz önüne alınarak, yapılacak deney ve analizlerde bu verilerden faydalanılmıştır. Çalışmanın doğruluğu, eskiden yapılan çalışmalardan elde edilen verilerle bu çalışmanın sonuçları karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Ayrıca doktora tez çalışmamızda, son yıllarda hidrolik yapıların tasarımında sıkça kullanılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) tabanlı programlar kullanılmış ve yapılan deneylerin bilgisayar ortamında nümerik modelleri oluşturulmuştur. Nümerik modellerden elde edilen sonuçlar, deneysel veriler ile karşılaştırılarak, bu programların doğrulukları test edilmiştir. Ayrıca deneylerden elde edilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılarak dairesel savaklar için literatürde kullanılabilecek formüller geliştirilmeye çalışılmıştır.



## 2. DOLUSAVAKLAR

Su yapılarında dolusavaklar, baraj haznesine gelen fazla suyu mansap tarafına güvenli ve kontrollü bir şekilde aktaran yapılardır. Dolusavaklar akım yüksekliği ve debiyi kontrol etmenin yanında mansap tarafına geçecek debi miktarının ölçülmesi için de kullanılırlar. Dolusavaklar genellikle akım yönüne dik olarak savağın memba tarafındaki akım yüksekliğini arttırmak için inşa edilirler. Dolusavakların barajın işletilmesinde ve stabilizesinde önemli fonksiyonları vardır ve baraj maliyetinde önemli bir yere sahiptirler. Dolusavakların barajlardaki konumları belirlenerek hidrolik ve statik hesapları yapılır. Konum belirlemede en önemli faktör, kullanılacak dolusavak tipidir. Hidrolik bakımdan en elverişli dolusavak tipi kullanılmalıdır. Barajın emniyetli olabilmesi için, dolusavağın büyük taşkınları barajı riske sokmadan tahliye edebilmesi gerekmektedir. Dolusavak tipinin ve yerinin doğru planlanması, projelendirilmesi, inşası ve güvenilebilir şekilde işletilmesi gerekmektedir. Barajlarda oluşan hasarların %22'si yetersiz dolusavak kapasitelerinden veya bunların hatalı işletilme durumlarından kaynaklanmaktadır (ICOLD, 1995).

Dolusavaklarda belirli bir uzunluktaki, kret uzunluğunun arttırılması için çeşitli şekillerde dolusavaklar yapılmaktadır. Labirent tipi dolusavaklar da bunlardan bir tanesidir. Labirent tipi dolusavaklar, düz savaklara göre aynı genişlikte daha uzun bir kret uzunluğunun elde edilmesini sağlamaktadır.

Kanal veya rezervuar uygulamalarında, eğer savak uzunluğu yeterli değilse düz savaklar taşkın debisini güvenli bir şekilde mansap tarafına aktaramayabilir (Tingey, 2011). Bu durumlarda aynı kanal açıklığında savak uzunluğunun arttırılması gerekmektedir. Bunu yapmanın yolu da labirent savak kullanmaktır.

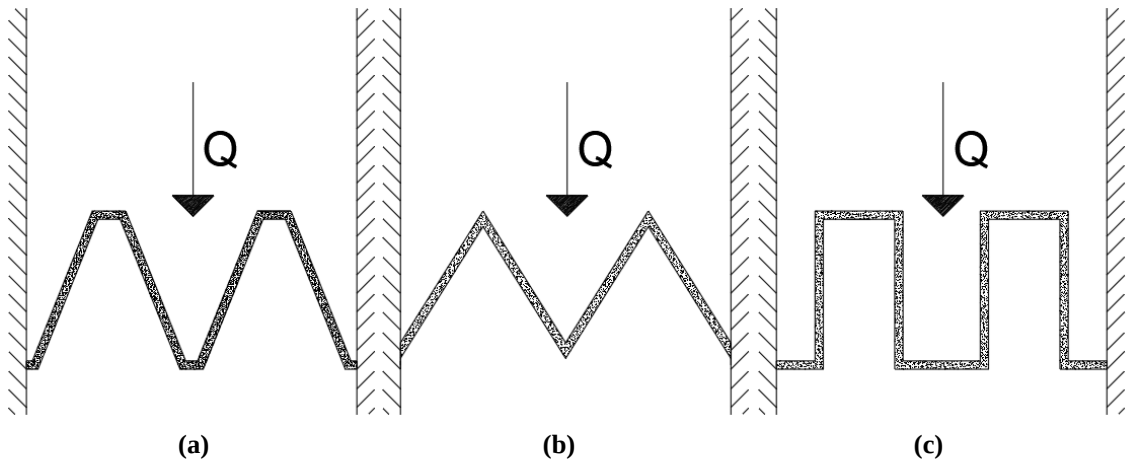
Dolusavaklar kapak bulundurup bulundurmamalarına göre, kontrollü ve kontrolsüz dolusavak olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Dolusavaklar; üstten alıslı, serbest akımlı, açık kanal, yandan alıslı, tünel, şaft ve sifon türünde de olabilmektedir. Üstten alıslı bir dolusavak ogee, keskin kenarlı, geniş başlıklı ve labirent şeklinde olabilir. Labirent savaklar bir tür üstten alıslı dolusavaklardır (Amanian, 1987).

## 2.1. Labirent Dolusavaklar

Labirent dolusavak, plan görünümünde katlanmış düz bir savaktır (Şekil 2.1). Labirent savaklar, doğrusal savak yapılarına kıyasla birçok avantaj sağlamaktadırlar. Bu katlanmış düzen sayesinde labirent savaklar aynı kanal genişliğinde daha uzun kret uzunluğu ( $L_{net}$ ) sağlamaktadır. Labirent savaklar belirli bir savak yükü için akış kapasitesini arttırmırlar, bu yüzden halihazırdaki barajların revizyonu için iyi bir alternatiftir (Wormleaton ve Tsang, 2000). Akış kapasitesinin artmasının bir sonucu olarak, labirent savaklar gövdede düz savaklara kıyasla daha az bir alana ihtiyaç duyarlar. Labirent savaklar debi ve alandan sağladığı avantajların yanında, iyi bir enerji kırıcı ve havalandırma yapılarıdır.

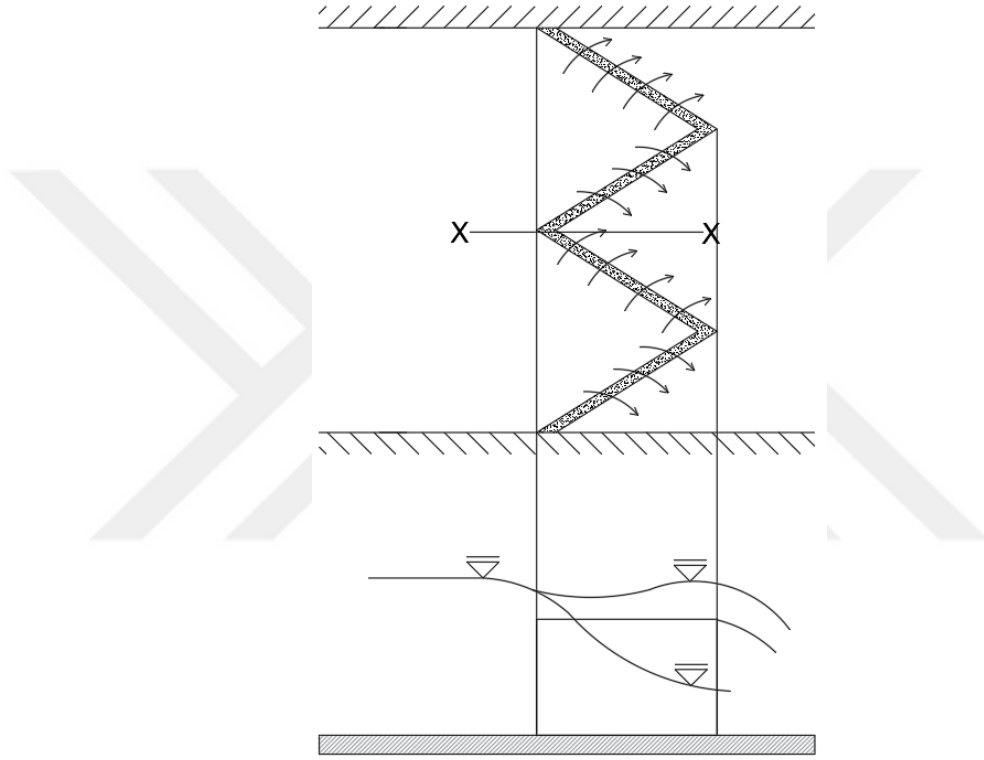
Bu tipteki katlanmış labirent savakların amacı aynı kanal genişliğinde düz bir savağa göre daha fazla kret uzunluğu sağlamaktır. Bu sayede maksimum debi kapasitesi artırılmış olur. Labirent savaklar düşük savak yüklerinde maksimum debilerin geçirilmesi gereken durumlarda avantajlıdır. Bu özelliklerinden dolayı labirent savakların imalatı düz savaklara göre daha ekonomik olmaktadır. Labirent savakların, düz savaklara göre en önemli dezavantajı buz ve odun gibi yüzen cisimlere karşı tehlikeye açık olmalarıdır. Bu yüzen cisimler labirentler arasında birikerek tıkanmalara sebep olmaktadır.

Labirent tipi savakların çok sayıda geometrik konfigürasyonu vardır. Bunlar üçgen (a), trapez (b) ve dikdörtgendir (c) (Şekil 2.1). Bu 3 geometri arasında en çok verimi üçgen ve trapez şekilli labirent savaklar sağlamaktadır.



Şekil 2.1. Farklı tipteki labirent savaklar (a) trapez, (b) üçgen ve (c) dikdörtgen

Labirent savaklarda akım 3 boyutludur. Bu yüzden matematiksel ifadeler akımı doğru bir şekilde tanımlayamamaktadır. Labirent savakların geometrileri göz önüne alındığında, akım ani daralmalarla ve genişlemelerle karşılaşmaktadır (Amanian, 1987)(Şekil 2.2). Akım ani daralma ile karşılaştığında su yüzeyinde düşme, ani genişleme ile karşılaştığında su yüzeyinde yükselme olmaktadır. Bu iki durumun kombinasyonu yaklaşım kanalındaki akımın yüzeyinde yükselmeye sebep olmaktadır (Hay ve Taylor, 1970).



Şekil 2.2. Üçgen kesitli labirent savak üzerinde oluşan akım profili

Labirent savaklardaki, debi-savak ilişkisi düz savaklardaki ile aynı olarak kabul edilirse, debi, ideal olarak hesaplanandan daha az olacaktır. Bunun sebebi, savağın memba tarafındaki akım yüksekliğinin yaklaşım kanalındaki akım yüksekliğinden az olmasıdır. Labirent savaklarda etkili kret uzunluğu arttırıldığında debideki artış oranı düz savaklardaki ile aynı olmamaktadır. Labirent savaklarda toplam su yükü arttığı zaman, savağın performansı düşmektedir ve aynı uzunluğa sahip bir düz savak gibi davranmaktadır. Bunun iki önemli sebebi vardır; şekilden dolayı oluşan nap girişimi ve memba ile mansap tarafındaki akımların etkileşimidir.

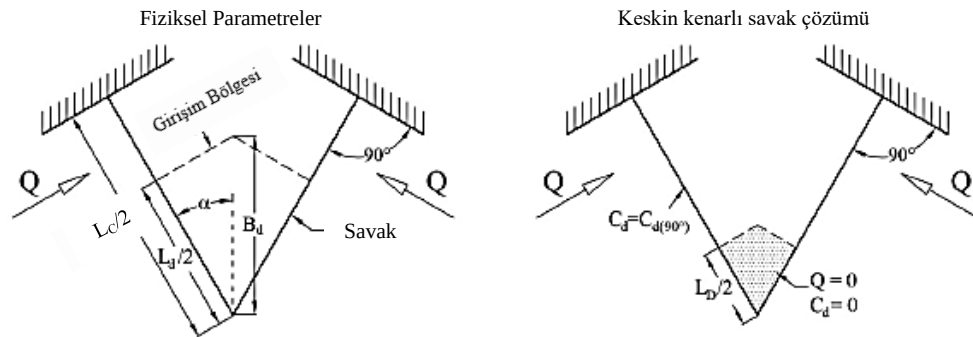
Nap akımlarının girişimi, mansap tarafındaki iki duvarın kesişim bölgesinde oluşur (Şekil 2.3). Duvarlar arasındaki açı azaldığı zaman, bu etkileşim daha fazla

olmakta ve yüksek debilerde debi-deşarj performansı azalmaktadır. Performansı yükseltmek için duvarlar arasındaki açı arttırıldığında ise labirent savakların uzunluk avantajı ortadan kalkmaktadır. Eğer labirent savakların mansap tarafındaki su yüksekliği kret yüksekliğine eşit veya yüksek ise batmış akım oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Üçgen savaklarda yüksek debilerde nap akımlarının oluşturduğu girişim

Indlekofer ve Rouve (1975) keskin kenarlı üçgen şeklindeki labirent savaklar üzerinde yaptıkları deneylerde nap akımlarının girişimlerini göstermişlerdir. Indlekofer ve Rouve (1975) labirent savak üzerinden geçen akımı akımların çakıştığı bölge ve her iki duvardan gelen akımın duvara dik gelerek aktığı serbest bölge olmak üzere ikiye ayırmışlardır (Şekil 2.4).

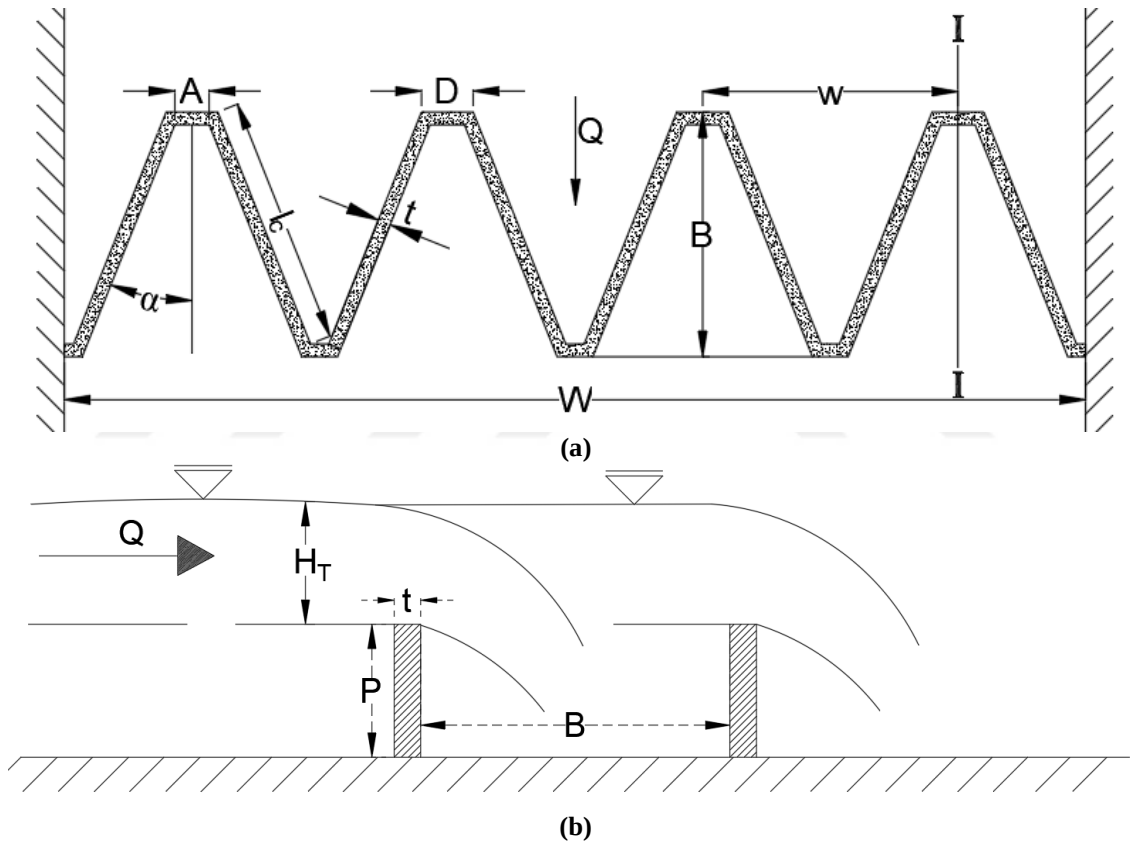


Şekil 2.4. Indlekofer ve Rouve (1975)'a göre nap akımlarından etkilenen bölgeler

## 2.2. Labirent Savaklarda Akımı Etkileyen Parametreler

Labirent savakların optimizasyonunu ve tasarımını etkileyen parametreleri belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde labirent savak üzerinden geçen debiyi etkileyen bütün parametrelerin üzerinde durulmuştur.

Labirent savakların tasarımında göz önüne alınan temel değişkenler; kret uzunluğu ( $L_{net}$ ), dolusavak (kanal) genişliği ( $W$ ), kret yüksekliği ( $P$ ), labirent savak yan duvar açısı ( $\alpha$ ), labirent göz sayısı ( $N$ ) ve daha az etkili değişkenler; duvar kalınlığı ( $t$ ), kret şekli, labirent uç (apeks) formudur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Labirent savaklarda akımı etkileyen parametreler (a) Savağın üstten görünüşü (b) Savağın (I-I) kesit görünüşü

- $H_T$  : Savak üzerindeki piyezometrik yükseklik (toplam su yükü)
- $P$  : Kret (Savak) yüksekliği
- $L_{net}$  : Savağın toplam etkili kret uzunluğu
- $w$  : İki labirent döngüsü arasındaki mesafe veya tek döngünün plan görünümünde genişliği.
- $l_c$  : Labirent savağın yan duvar uzunluğu

B : Labirent savağın akım yönündeki uzunluğu  
 $\alpha$  : Labirent savağın duvar açısı  
W : Savağın yerleştirildiği kanalın genişliği (plan görünümünde labirent savağın uzunluğu)

A : Dıştan apeks uzunluğu  
D : İçten apeks uzunluğu  
t : Duvar kalınlığı  
N : Döngü (göz) sayısı

Labirent savaklar üzerinden geçen akımı matematiksel olarak doğru bir şekilde açıklamak oldukça zordur. Çünkü labirent savaklar üzerinden geçen akım 3 boyutludur ve akım savaklar üzerinden geçerken kritik akım durumunda olmaktadır. Matematiksel denklemler çıkarılırken; enerji, momentum ve süreklilik denklemleri, karmaşık akım çizgileri, nap akımları altındaki basınç, nap akımları altındaki negatif basıncın etkisi, yüzey gerilimi ve savak geometrisi göz önüne alınmalıdır. Bu yüzden araştırmacılar labirent savakların üzerinden geçen debinin hesabında deneysel verilerden elde edilmiş ampirik formülleri kullanmışlardır.

Labirent savakların üzerinden geçen debiyi etkileyen parametrelerin düz savaklardaki debiyi etkileyen parametreler ile aynı olduğu kabul edilir. Tullis ve ark. (1995) tarafından düz savaklarda kullanılan formül labirent savaklara uyarlanarak Denklem (2.1) elde edilmiştir. Bu denklemde  $H_T$ 'nin toplam su yükü olduğu ve  $H_T = h + V^2/2 * g$  olduğu kabul edilmektedir.

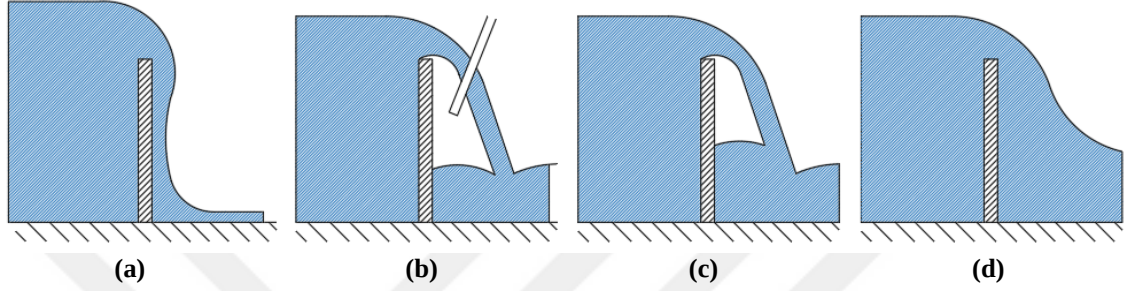
$$Q = \frac{2}{3} * C_d * L_{net} * \sqrt{2 * g} * H_T^{1,5} \quad (2.1)$$

Burada;

Q : Savak üzerinden geçen debi  
 $C_d$  : Boyutsuz debi katsayısı  
 $L_{net}$  : Savağın etkili uzunluğu  
g : Yerçekimi ivmesi  
 $H_T$  : Kret üzerindeki toplam su yükü.

Debi çok yüksek seviyelere çıktığı zaman, savağın debi-deşarj performansı kret uzunluğundan ziyade kret geometrisinden (kesitinden) etkilenmektedir. Napların

havalanması labirent savakların mansap tarafındaki akımın duvara yapışık veya ayrık akması ile ilgilidir. Bazı durumlarda duvarların mansap tarafları yapay olarak bacalar ile havalandırılabilir. Falvey (2002) labirent savaklar üzerindeki akımın havalanmasını 4 farklı şekilde tanımlamıştır. Bunlar, Şekil 2.6.'da gösterildiği gibi havalanmamış-yapışık akım (a), baca ile kısmi havalandırılmış akım (b), kendinden havalanmış ve nap akımı oluşmuş durum (c) ve batmış (boğulmuş) akım (d) durumlarıdır (Şekil 2.6).

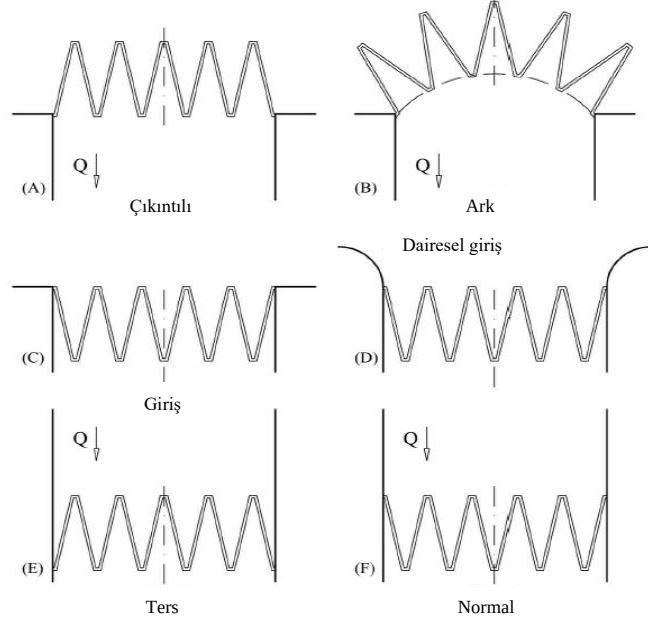


**Şekil 2.6.** Labirent savakların mansap tarafındaki akım durumları (a) Yapışık akım, (b) Kısmi havalandırılmış akım, (c) Havalandırılmış (nap) akımı, (d) Batmış (boğulmuş) akım

Nap akımının havalanması savağın tepe şekline, akımın yaklaşım hızına, türbülansa ve toplam savak yüküne bağlı olarak değişmektedir. Yapışık akım durumunda (Şekil 2.6.-(a)) su, savağın mansap yüzeyine yapışık vaziyette akmaktadır ve duvar ile su arasında negatif basınç oluşmaktadır. Bu durum genellikle düşük savak yüklerinde görülmektedir ve savak yükü, debi arttıkça artan negatif basınçtan dolayı akım havalanmış (Şekil 2.6.-(c)) duruma geçebilmektedir. Bazı durumlarda bu yapışkan akımı engellemek için, akım bir baca vasıtasıyla havalandırılarak havalanmış (nap akımı) akım elde edilir (Şekil 2.6.-(b)). Çok yüksek savak yüklerinde ve akımın havalanmadığı durumlarda akım batmış akım durumuna geçebilir (Şekil 2.6.-(d)). Akımın durumu kret üzerinde oluşacak savak yükü ( $H_T$ )'yi doğrudan etkilemektedir. Örneğin aynı debide ( $Q$ ) yapışık akımda oluşacak savak yükü, havalanmış akım durumunda oluşacak savak yükünden az olacaktır. Nap akımının yapay olarak veya doğal olarak havalandırılmasının savağın stabilizasyonuna olumlu katkısı olmaktadır ve savaklardaki titreşimleri ve ses gürültüsünü azaltmaktadır.

Labirent savaklar farklı konfigürasyonlarla yerleştirilebilmektedir. Ark şeklinde yerleştirilmiş labirent savak konfigürasyonu akımın savaklara daha dik doğrultuda yaklaşmasından dolayı verimi artırmaktadır. Houston (1983) farklı konfigürasyonlar üzerinde deneyler yapmıştır ve şu gözlemlerde bulunmuştur; normal (Şekil 2.7.-(f)) yerleştirilmiş savaklar ters yerleştirilmiş (Şekil 2.7.-(e)) savaklara göre aynı savak

yükünde %3.5 daha fazla debi geçirmişlerdir. Kanal girişine yerleştirilen labirent savaklarda ( Şekil 2.7.-(a)), girişteki labirent (Şekil 2.7.-(c)) savaklara göre %10.4 daha fazla debi geçirmişlerdir.



Şekil 2.7. Houston (1983) tarafından farklı konfigürasyonlarda yerleştirilen labirent savak

Model çalışmalarından ve prototipteki gözlemlerden elde edilen labirent dolusavakların genel projelendirmeleri yapılırken dikkat edilecek kriterler aşağıda verilmiştir.

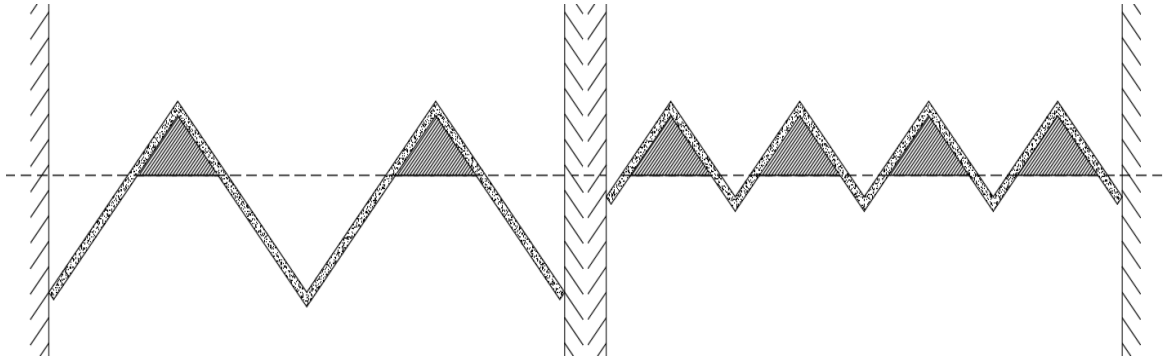
Savak üzerindeki toplam su yükünün ( $H_T$ ), kret yüksekliğine ( $P$ ) oranı ( $H_T/P$ ):

Labirent savağın hemen öncesinde ölçülen savak yükünün ( $H_T=h+V^2/2*g$ ), kret yüksekliğine ( $P$ ) oranını gösteren boyutsuz bir sayıdır. Bu oran labirent savakların performanslarını karşılaştırmak açısından önemlidir. Plan görünümünde aynı olan fakat farklı savak yüksekliklerine sahip labirent savaklar üzerinden eşit değerlerde debi geçmesi durumunda bu oran ile labirent savakların performansı karşılaştırılmaktadır. Kret yüksekliğinin minimumda tutularak maliyetin düşürülmesi ve batık akımı engellemek için  $H/P$  oranının 0.45 ile 0.55 arasında olması gerekmektedir. Bazı araştırmacılar (Hay ve Taylor, 1970; Lux, 1989) labirent savakların hidrolik verimliliğinin düşmemesi için maksimum bir  $H_T/P$  oranının olması gerektiğini belirtmişlerdir. Tullis ve ark. (1995), deneysel çalışmalar neticesinde labirent savakların hidrolik açıdan verimli olabilmesi için  $H_T/P$  oranının 0.9'dan küçük olması gerektiğini belirtmişlerdir.

### Labirent savaklarda göz sayısı (N):

Labirent savak göz sayısının artması, labirentlerin çok küçülerek düz bir savak haline gelmesi demektir. Lux (1989) a göre aynı kanal genişliğinde (W) savak sayısının (N) artması, debi katsayısı ( $C_d$ ) yi düşürmektedir. Ayrıca savak yükü ( $H_T$ ), dolusavak genişliği (W) ve proje için ayrılan bütçe savağın göz sayısının (N) belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Tek göze sahip bir labirent savak inşası mümkün olmamakla birlikte ekonomik de olmaz. Labirent savaklarda göz sayısı arttıkça nap akımlarının girişim oluşturduğu bölgelerin sayısının artmasının yanında, girişim bölgelerinin savak üzerinde etkileyeceği alan da artacaktır. Labirent savakta kullanılacak göz sayısı bu girişim bölgelerinden dolayı optimum şekilde belirlenmelidir. Labirent savakta kullanılacak göz sayısı duvar açısı ( $\alpha$ ), yan duvar uzunluğu ( $l_c$ ), iki labirent döngüsü arasındaki mesafe (w) ve duvar kalınlığı (t) parametrelerine göre belirlenmektedir. Kullanılacak göz sayısı aynı zamanda w/P oranına göre de belirlenmektedir. Taylor (1968) ve Lux (1989), w/P oranının 2’den büyük olması gerektiğini önermişlerdir. Tullis ve ark. (1995) yaptığı çalışmalarda w/P oranının 3.0 ile 4.0 arasında olduğunda en iyi performansın elde edileceğini söylemişlerdir.

Nap girişimlerinde oluşacak akım girişimleri kanala yerleştirilen labirent savak (N) sayısı ile doğrudan ilgilidir. Aynı kanal genişliğinde labirent sayısı arttıkça nap sayısı artacak ve labirentlerin plan görünümündeki boyları kısılacaktır (Şekil 2.8). Labirentlerin boyları kısaldığı için akım girişiminin etkilendiği alan daha fazla olacaktır.

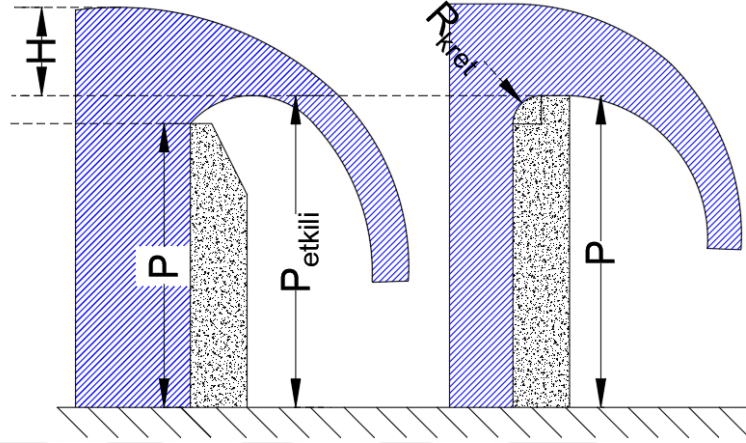


**Şekil 2.8.** Göz sayısına bağlı olarak üçgen kesitli labirent savaklarda oluşacak girişim bölgeleri

### Savak yükünün (H), Savak kret yarıçapına ( $R_{kret}$ ) oranı ( $H/R_{kret}$ ):

$H/R_{kret}$  oranı, debi katsayısı  $C_d$ ’yi etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir. önemli ölçüde etkilenmektedir. Matthew (1963)’in yaptığı çalışmalara göre, savak kret yarıçapı ( $R_{kret}$ ) küçük olan savakların debi katsayıları ( $C_d$ ) daha büyük olmaktadır. Ayrıca

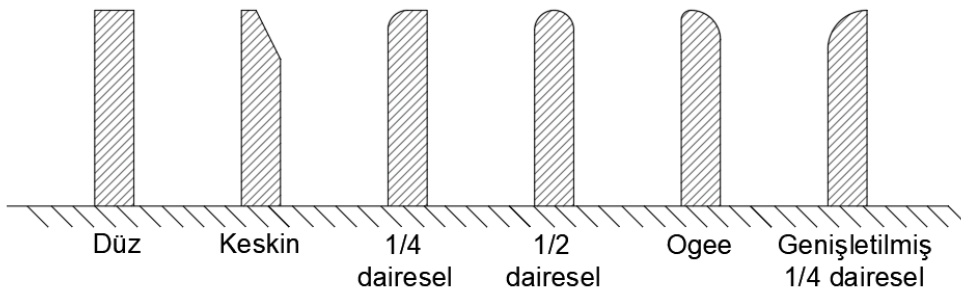
$R_{kret}$  suyun havalanma miktarını da etkilemektedir. Debi katsayısı  $C_d$ 'nin  $H/R_{kret}$  oranından etkilenmesine rağmen, farklı savak kret yarıçapları için  $C_d$ 'yi veren bir formül bulunmamaktadır. Kret yarıçapının  $C_d$ 'ye olan etkisi daha çok deneysel model çalışmaları ile belirlenmektedir. Ayrıca savak kret yarıçapları gerçek ( $P_{etkili}$ ) ve teorik savak ( $P$ ) yükünü de etkilemektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Labirent savaklar üzerinde savak şekline bağlı olarak oluşan etkili savak yüksekliği

#### Savak kret şekli:

Savak kret şeklinin, labirent savakların hidrolik performansına büyük etkisi vardır. Labirent savaklarda kullanılabilecek 6 farklı savak tepe şekli aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.10). Düşük savak yüklerinde akımın savağın kretinin mansap tarafında yüzeye yapışmasını sağladığı ve savakların mansap tarafındaki yüzeylerinde havalandırmayı sağladığı için 1/2 dairesel ve ogee tipi tepe şekilleri en verimli olanlarıdır. Keskin kenarlı kret şekline sahip savaklar, dairesel kret şekline sahip olanlara göre daha az verimli olmaktadır. Aynı plan görünümüne sahip savaklardan elde edilen  $H_T/P$  oranlarını karşılaştırırken savak kret şekli göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü suyun savak kreti üzerinde gösterdiği profil farklı olmaktadır. Bu profil oluşan ve ölçülen savak yükü arasında farklılık oluşturmaktadır.

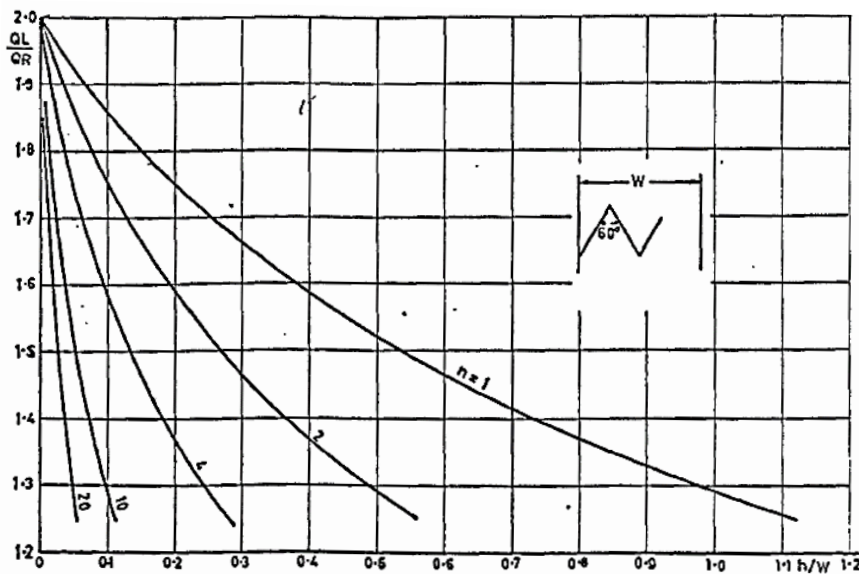


Şekil 2.10. Farklı kret şekline sahip savaklar

### 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

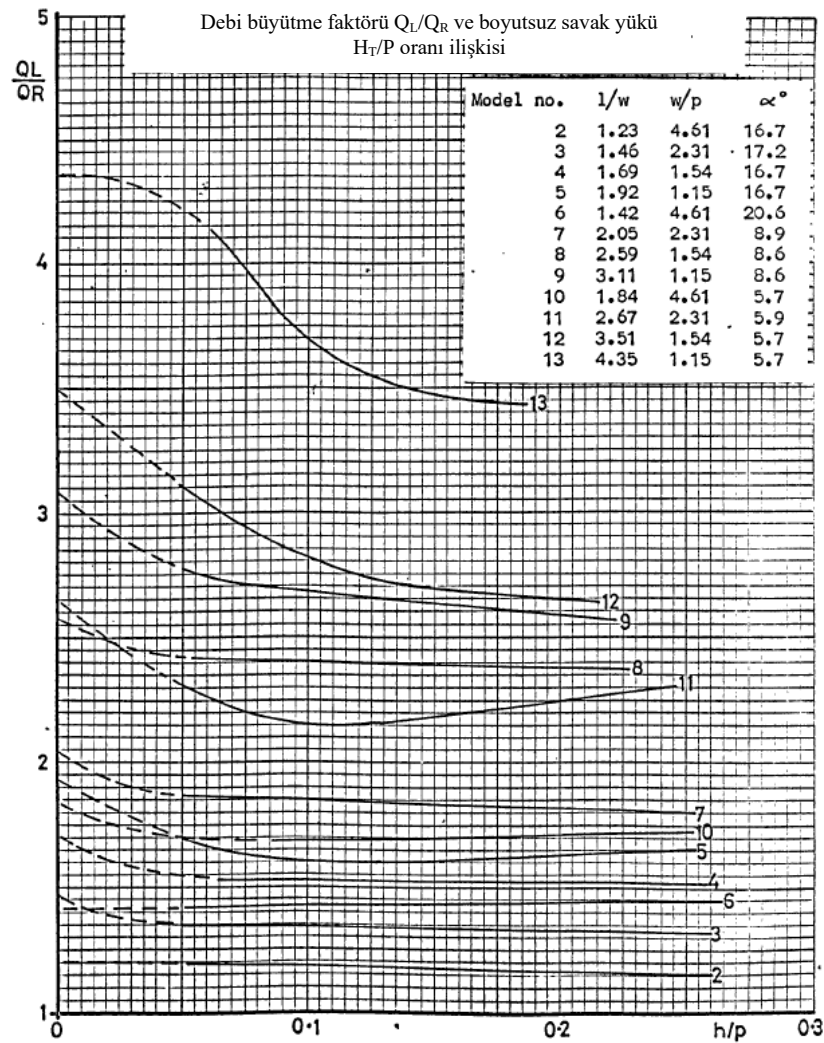
Labirent savakların literatürdeki temeli düz (keskin kenarlı) savaklara dayanmaktadır. Düz savaklar ile ilgili ilk araştırmalar Boileau (1854), Horton (1907), Escande ve Sabathé (1937), Istomina (1937) tarafından yapılmıştır.

Gentilini (1940) plan görünüşünde katlanmış üçgen labirent savaklar fikrini ilk defa geliştirmiştir. Daha önce üzerinde çalışmış olduğu düz savakları üçgen formu oluşturacak şekilde bir araya getirdi. Bu üçgen formundaki keskin kenarlı savakların, yan duvar açıları 60, 45 ve 30 derecedir ve bu savakları nispeten küçük  $w/P$  oranlarıyla yerleştirmiştir. Yan duvar açılarına bağlı olarak,  $L_c/w$  oranları 1.15, 1.42 ve 2 olmaktadır. Burdaki  $L_c$  bir labirent döngüsünün toplam uzunluğunu,  $w$  ise bir labirent döngüsünün plan görünümdeki uzunluğunu temsil etmektedir. Deneylerde keskin kenarlı savak kullanmıştır (Şekil 3.1). Farklı dikey en boy ( $w/P$ ) oranları için, farklı yükseklikte ve farklı sayıda üçgen içeren labirent savaklar üzerinde deneyler yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda düşük  $w/P$  oranlarında nap girişimlerinin etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Sonuçlar  $Q_L/Q_R$  ve  $H_T/w$  oranına bağlı olarak grafikler halinde verilmiştir. Bu parametreler debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ ) ve boyutsuz savak yüküdür ( $H_T/P$ ). Burada  $Q_L$ ,  $L$  kret uzunluğuna sahip labirent savaklar üzerinde deneylerde ölçülen debiyi,  $Q_R$  ise aynı savak yükü ( $H$ ), kret yüksekliği ( $P$ ) ve kanal genişliğine ( $W$ ) sahip bir düz savak üzerinden geçecek teorik debidir.



Şekil 3.1. Üçgen labirent savaklarda debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ )'nin, farklı döngü sayılarına ( $N=1, 2, 4, 10, 20$ ) bağlı olarak  $H_T/w$  ile değişimi (Gentilini, 1940)

Kozák ve Sváb (1961) trapez şeklinde ve 6 mm duvar kalınlığına sahip labirent savaklar üzerinde 11 adet deney yapmışlardır. Labirent savaklar orta tepesi düz ve her iki tarafı da yarım daire olacak şekilde pahlanmışdır. Bu yüzden en tepede savak duvar kalınlığı 4.5 mm olmaktadır. Test edilen parametre aralıkları aşağıda verilmiştir. Elde edilen sonuçlar debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ ) ve boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) cinsinden ifade edilmiştir. Debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ ) hesabında kullanılan düz savaklara ait debi için ( $Q_R$ ) keskin kenarlı debi katsayısı kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Labirent savaklarda debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ )'nün, farklı  $l/w$ ,  $w/p$  ve  $\alpha$  değerleri için  $H_T/P$  ile değişimi (Kozák ve Sváb, 1961)

$$1.23 \leq L_c/w \leq 4.35$$

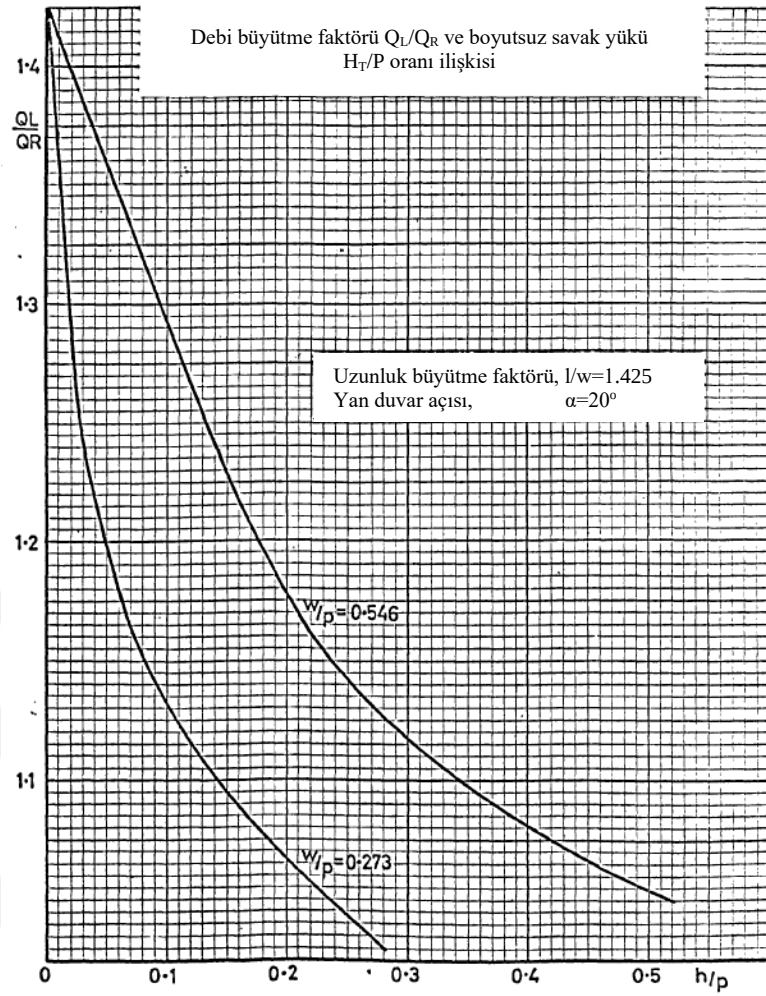
$$1.15 \leq w/P \leq 4.61$$

$$5.7^\circ \leq \alpha \leq 20.6^\circ$$

$$0.05 \leq H_T/P \leq 0.25$$

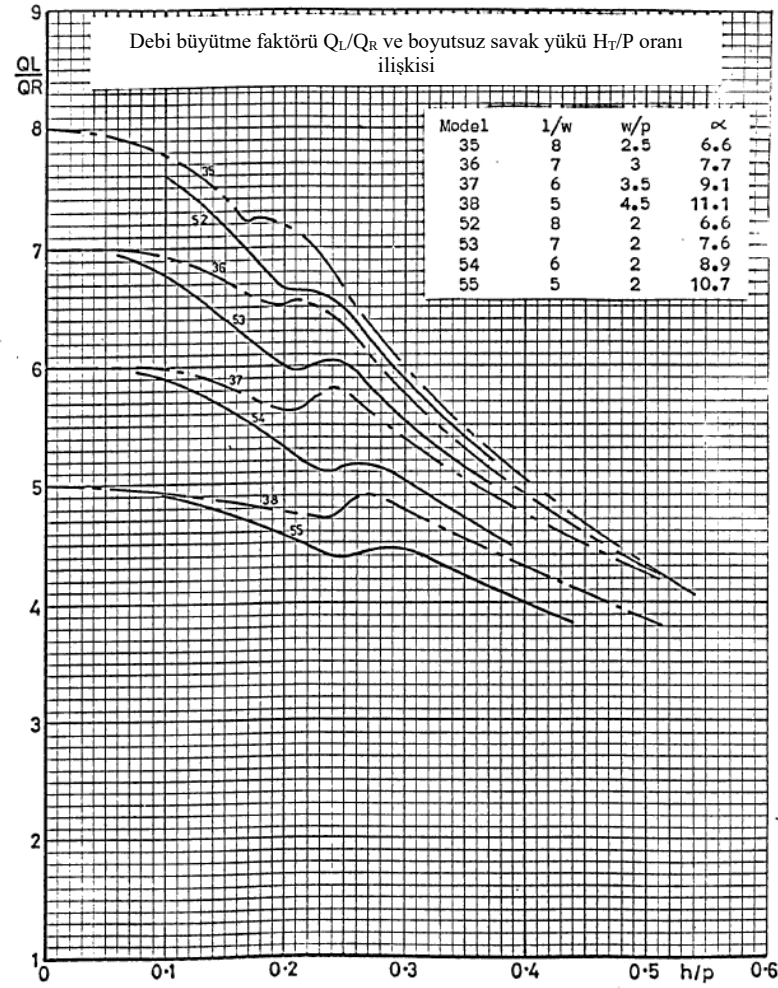
Yaptıkları çalışmalar sonucunda labirent savakların, aynı savak yükünde ve aynı kanal genişliğinde, düz savaklara göre daha fazla debi geçirdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca labirent savakların üzerinden geçen debi arttıkça, debi büyütme faktörünün ( $Q_L/Q_R$ ) azaldığı ve labirent savakların debi-deşarj avantajının düştüğü görülmektedir. Yüksek debilerdeki debi büyütme faktöründeki ( $Q_L/Q_R$ ) düşüş, yüksek  $l/w$  oranlarında daha fazla olmaktadır. Ayrıca labirent savakların kompleks geometrilerinden dolayı, debinin sadece deneysel olarak hesaplanacağı sonucuna varmışlardır. Kozak ve Svab (1961) çalışmaları sınırlı bir dizayn ve performans aralığını kapsamaktadır.

Tison ve Fransel (1963) trapez şekilli labirent savakların performansını belirlemek için bir dizi deneyler yapmışlardır. Bu deneyler az sayıda döngü içeren labirent savak ve düşük  $w/p$  oranına göre tasarlandığı için, yüksek debilerde ve yüksek savak yüklerinde labirent savakların performanslarının düz savaklara yaklaştığı görülmektedir. Şekil 3.3'den görüldüğü gibi yüksek savak yüklerinde debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ ) 1'e yaklaşmaktadır. Deneylerde kullanılan labirent savakların yan duvar açıları ( $\alpha$ )  $20^\circ$  ve uzunluk büyütme faktörü ( $l/w$ ) 1.425'tir (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3.** Trapez labirent savaklarda, debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ )'nün,  $L_c/w=1.425$  ve  $\alpha=20^\circ$  değerleri için  $H_T/P$  ile değişimi (Tison ve Fransel, 1963)

Labirent savaklar üzerine yapılan en kapsamlı öncü çalışmalardan bir tanesi Taylor (1968) tarafından yapılmıştır. Taylor (1968) labirent savakların tasarımının belirlenmesi için 17 adım önermiştir. Trapez, üçgen ve dikdörtgen kesitli labirent savaklar ile yaptığı deneylerde keskin kenarlı ve  $1/2$  dairesel tepe şekline sahip savaklar kullanmıştır. Toplamda 55 farklı labirent savak üzerinde deney yapmıştır. Farklı kesitlere sahip labirent savak deney düzenekleri hazırlanırken kullanılan temel parametreler  $l/w$ ,  $w/p$  ve  $\alpha$ 'dır (Şekil 3.4). Ölçümler yapılırken önceki çalışmalardan farklı olarak akımın durumu dikkate alınarak havalanmış veya boğulmuş akım olduğuna göre ayrı sonuçlar toplanmıştır. Ayrıca deneysel verilerden elde ettiği sonuçları, teorik hesaplar ile karşılaştırarak nap akımlarının girişiminin labirent savakların performansına olan etkisini de incelemiştir. Taylor elde ettiği sonuçları boyutsuz parametreler olan debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ ) ve boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) ile vermiştir.



Şekil 3.4. Üçgen labirent savaklarda, debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ )'nün, farklı  $L_c/w$ ,  $w/P$  ve  $\alpha$  değerleri için  $H_T/P$  ile değişimi (Taylor, 1968)

Hay ve Taylor (1970) labirent savakların dizaynında ve debi tahmininde kullanılacak kriterleri belirlemek için daha çok üçgen olmak üzere, trapez ve dikdörtgen şekilli 24 farklı labirent savak üzerinde deneyler yapmışlardır.  $0.05 < H_T/P < 0.55$  aralığında yapılan bu deneyler 1/2 daire ve 1/4 daire olmak üzere iki farklı savak şekli kullanılmıştır. Hay ve Taylor (1970)'un çalışması labirent savak üzerinden geçen debiyi belirlemek için yapılan ilk çalışmalardandır. Elde edilen sonuçlar  $Q_L/Q_R$  ve  $H_T/P$ 'ye bağlı olarak boyutsuz grafiklerde verilmiştir. Üçgen ve dikdörtgen savaklar için dizayn grafikleri oluşturmuşlar ve  $H_T/P$  oranı arttıkça  $Q_L/Q_R$  oranının azaldığını ve belirli bir orandan sonra labirent savakların verimini yitirerek düz savaklar gibi davranmaya başladığını göstermişlerdir. Hay ve Taylor, savak yükü ( $H_T$ ) hesaplarında hız bileşeni olan  $V^2/2 \cdot g$ 'yi ihmal etmişlerdir. Üçgen şekilli labirent savakların tasarımı yapılırken maksimum yan duvar açısının ( $\alpha$ )'nın kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir ve labirent savakların verimini tanımlamak için Denklem (3.1)'i önermişlerdir. Çalışmalarının sonucunda

labirent savakların mansap tarafındaki havalanmayı engelleyecek ve vakum oluşturacak batmış akım veya yüksek savak yükleri altında kullanılmamaları gerektiğini belirtmişlerdir.

$$E(\%) = \frac{Q_L/Q_N}{L_C/w} * 100 \quad (3.1)$$

Burada;

$Q_L$ : Aynı savak yükünde labirent savakta oluşan debi

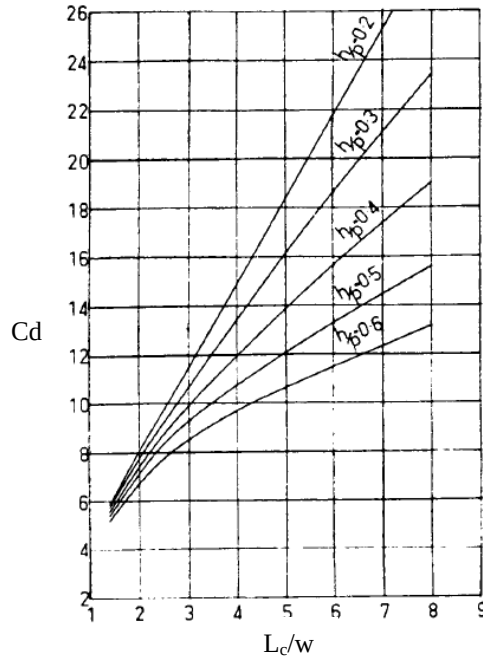
$Q_N$ : Aynı savak yükünde düz savakta oluşan debi

$L_C$ : Duvar uzunluğu

$w$ : Labirentler arası mesafe

Darvas (1971), Worona ve Avon savaklarının fiziksel modelleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen verileri kullanarak, labirent savaklar için dizayn grafikleri elde etmiştir (Şekil 3.5). Yapılan çalışmalarda  $0.2 < H_T/P < 0.6$  ve  $w/P > 2$  değerleri ve genişletilmiş 1/4 yuvarlak kret şekline sahip savaklar kullanılmıştır. Debi katsayısı için ise aşağıdaki ampirik denklemi geliştirmiştir. Darvas (1971) labirent savakların debi katsayılarını hesaplarken keskin kenarlı savak formüllerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar, uzunluk büyütme faktörü ( $L_C/w$ ) ve debi katsayısı  $C_d$ 'ye bağlı olarak aşağıdaki Denklem (3.2) ile ifade edilmiştir.

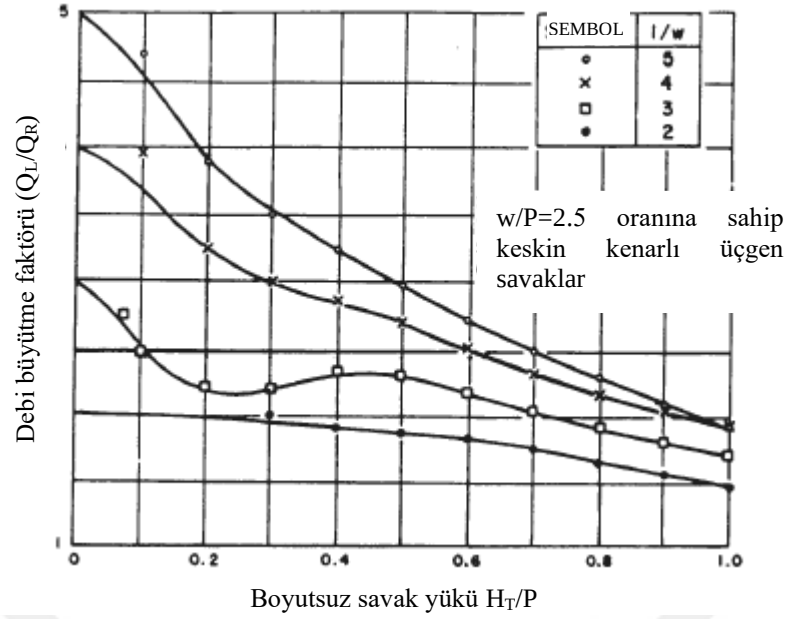
$$C_{d-Darvas} = \frac{Q}{W * H_T^{1.5}} \quad (3.2)$$



**Şekil 3.5.** Trapez labirent savaklarda, debi katsayısı  $C_d$ 'nin farklı  $H_T/P$  değerleri için  $L_c/w$  ile değişimi (Darvas, 1971)

Mayer (1980), Bartlett projesi kapsamında inşa edilecek labirent dolusavak için 1/20 ölçeğinde bir modelleme çalışması yapmış ve elde ettiği sonuçlar bu projeye büyük katkı sağlamıştır.

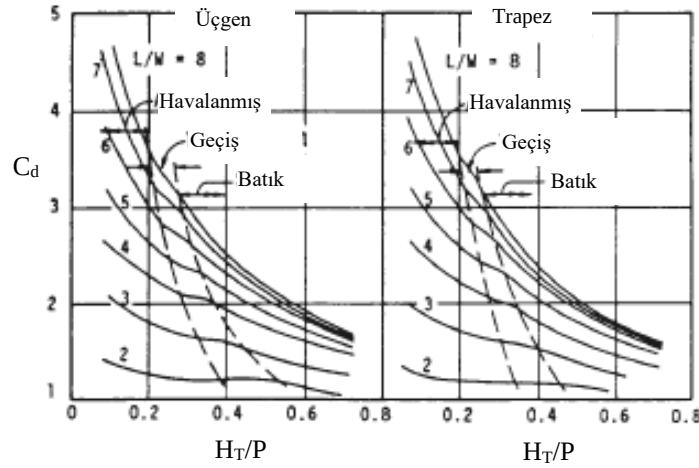
Houston (1983) USBR da yürüttüğü çalışmalarda, halihazırda buluna Hyrum Ute barajlarının rezervuar kapasitesinin artırılması için bir labirent savak modeli oluşturmuştur. Çalışmalarda keskin kenarlı ve 1/4 yuvarlak kret şekline sahip savaklar kullanılmıştır. Ayrıca, Hay ve Taylor (1970) tarafından verilen grafiklerin Ute barajı üzerine inşa edilecek labirent savakların üzerinde uygulanabilirliğini ve doğruluğunu araştırmışlardır. Labirent savakların Hay ve Taylor (1970)'ın dizayn grafiklerine göre inşa edilmesi halinde, maksimum su seviyesinde taşkın debisini geçiremeyeceğini ve savakların yetersiz kalacağı görülmüştür. Hinchliff ve Houston (1984)'ın, model çalışmalarından elde ettikleri bu sonuçları debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ ) ve boyutsuz savak yüküne ( $H_T/P$ ) bağlı olarak vermişlerdir (Şekil 3.6). Hinchliff ve Houston (1984)'ın vermiş oldukları grafiksel sonuçlar, Hay ve Taylor (1970)'ın sonuçları ile farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar özellikle yüksek  $H_T/P$  oranlarında daha belirgin olmaktadır. Bu farklılığın en temel sebeplerinden bir tanesi  $H_T$  tanımlama farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Hinchliff ve Houston (1984),  $H_T$  tanımına hız yükünü ( $V^2/2g$ )'yi de dâhil etmişlerdir.



**Şekil 3.6.** Üçgen labirent savaklarda, debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ )'nün, farklı  $L_c/w$  oranları ve  $w/P=2.5$  için  $H_T/P$  ile değişimi (Houston, 1983)

Lux (1989), açık kanalda keskin kenarlı ve 1/4 yuvarlak kret şekline sahip labirent savaklar üzerine yaptığı deneylerde savakların performansı ile ilgili veriler toplamıştır ve bu verileri kullanarak tek bir labirent döngüsü üzerinden geçen debiyi ( $Q_{döngü}$ ) hesaplamak için debi katsayısı formülü  $C_{d-Lux}$ 'ü üretmiştir (Şekil 3.7). Formülün üçgen ve trapez savaklara uygulanabilirliği açısından formül içerisine  $w/P$  oranı ve  $k$  şekil faktörü yerleştirilmiştir. Elde edilen Denklem (3.3)  $w/P \geq 2$  aralığı için geçerlidir. Lux, labirent savakların bir döngüsü üzerinden geçen debinin hesabı için Denklem (3.3)'ü önermiştir. Labirent savak üzerinden geçen toplam debinin hesabı için,  $Q_{döngü}$ 'nün, göz-döngü sayısı ( $N$ ) ile çarpılması gerekmektedir.

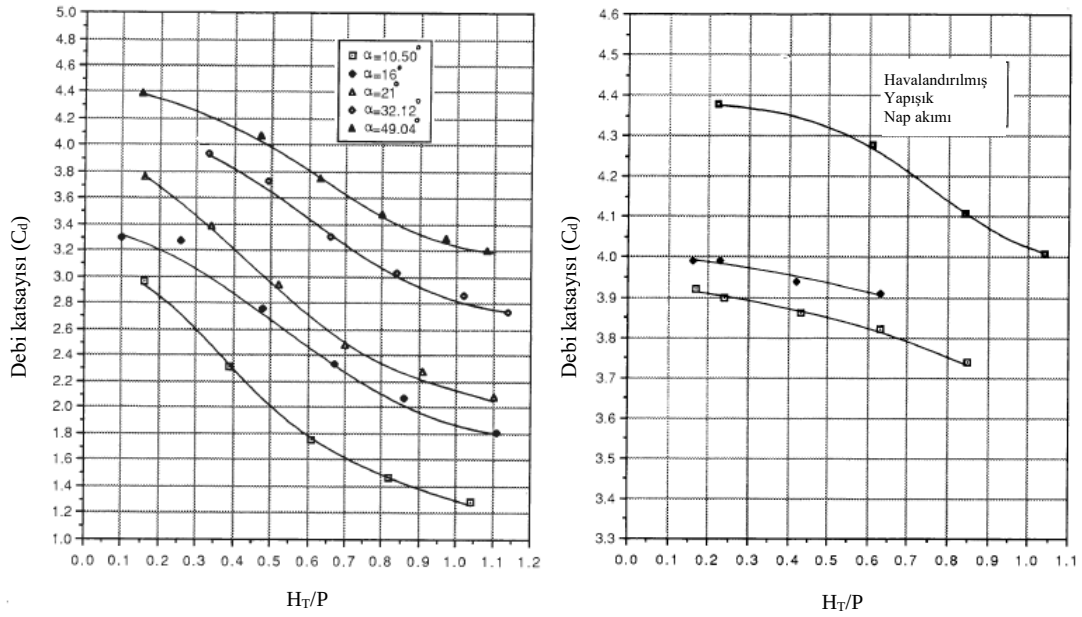
$$C_{d-Lux} = \frac{Q_{döngü}}{\frac{w/P}{\frac{w}{P} + k} * w * \sqrt{g} * H_T^{3/2}} \quad (3.3)$$



**Şekil 3.7.** Trapez ve üçgen labirent savaklarda, ettiği debi katsayıları  $C_d$ 'nin, farklı havalanma durumlarına bağlı olarak  $H_T/P$  ile değişimi (Lux, 1989)

Amanian (1987), 11 adet düz savak ve 1/2 dairesel tepe şekline sahip 8 adet üçgen kesitli labirent savaklar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Amanian labirent savakları kanala  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $45^\circ$  olmak üzere farklı açılarda yerleştirmiştir. Üçgen kesitli labirent savakların yan duvar açıları ( $\alpha$ ) 10.50, 16, 21, 32.12 ve 49.04 derecedir. Deneylerde kullanılan labirent savaklar  $t=19.05$  mm kalınlığında plywood'dan imal edilmiştir. Amanian çalışmalarında labirent savakların üzerinden akan nap akımına da odaklanmıştır ve Amanian (1987) 1/2 dairesel tepe şekline sahip savakların diğer tepe şekline (1/4 yuvarlak, keskin kenar ve düz) sahip savaklara göre daha verimli olduğunu belirtmiştir. Amanian (1987) labirent savakların mansap kısmındaki havalanma durumunun debiye ve savak yüküne etkisi olduğunu göstermiştir. Farklı havalanma durumları için düz savaklar üzerinde yaptığı deneyler ile bu etkiyi göstermeye çalışmıştır. Farklı havalandırma durumları için elde edilen debi katsayıları Şekil 3.8'de görülmektedir. Ayrıca savak yükü  $H_T$  arttıkça, batmışlık ve nap akımlarının girişiminden dolayı labirent savağın performansının düştüğü ve debi katsayısının azaldığı görülmüştür. Amanian (1987), debi katsayısı hesaplarında düz savak denklemini olan Denklem (3.4)'ü kullanmıştır. Elde ettiği sonuçları debi katsayısı ( $C_d$ ), debi büyütme faktörü ( $Q_L/Q_R$ ) ve boyutsuz debi katsayısı  $H_T/P$ 'ye bağlı olarak vermiştir.

$$C_{düz} = C * L * H^{3/2} \quad (3.4)$$



**Şekil 3.8.** Trapez labirent savaklarda, debi katsayısı  $C_d$ 'nin, farklı yan duvar açıları ( $\alpha$ ) ve havalanma durumları için  $H_T/P$  ile değişimi (Amanian, 1987)

Magalhaes ve Lorena (1989), Darvas (1970)'ın ogee formlu kret şekline sahip olan labirent savaktan elde ettiği grafiğe benzer bir eğri elde etmişler, bunu WES olarak adlandırmışlar ve boyutsuz debi katsayısı  $C_d$  için aşağıdaki Denklem (3.5)'i önermişlerdir.

$$C_{d-Mag \text{ ve } Lor} = \frac{Q}{W * \sqrt{2g} * H_T^{1.5}} \quad (3.5)$$

Bu denklem standart düz savak denklemi ile aynıdır. Labirent savaklar için kullanılan uzunluk  $L_c$  yerine, denklemde uzunluk olarak,  $w$  kanal genişliği kullanılmış ve denklemdeki 2/3 oranı kaldırılmıştır.

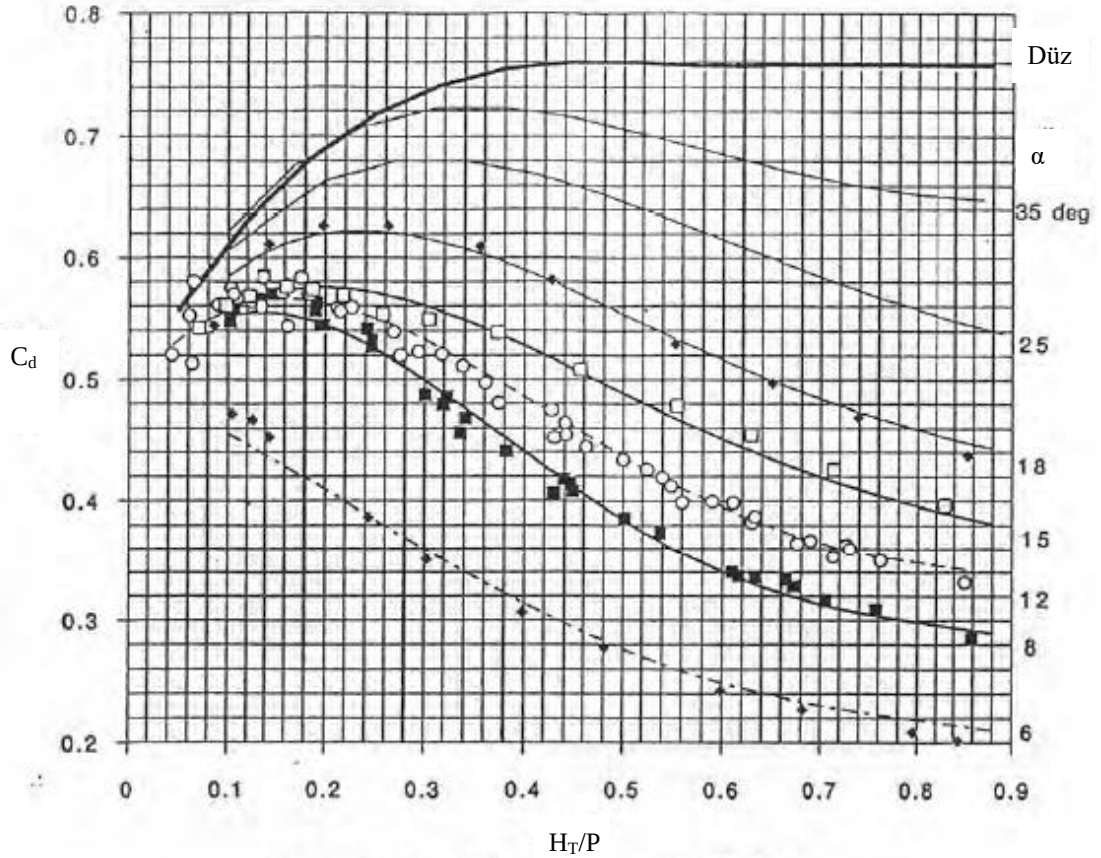
Waldron (1994), açık kanal üzerine yerleştirilmiş düz ve trapez kesitli savaklar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Akım doğrultusuna dik olarak yerleştirilen labirent savaklar kontrplaktan dan imal edilmiştir ve duvar kalınlıkları  $t=25.4$  mm'dir. Çalışmalar sonucunda, labirent savak içerisinde kullanılan labirent sayısının debi katsayısı üzerinde bir etkisinin olmadığını gözlemlenmiştir. Waldron (1994) vermiş olduğu  $H_T/P$  grafiklerinde nap akımlarının havalanma durumuna göre akıma olan etkilerini de belirtmiştir. Labirent savakların akım yönündeki uzunluğu  $B$ , her deney setinde sabit tutulmuştur fakat aynı kanal genişliğinde döngü sayısı değiştirdiği için duvar açıları değişmiştir. Deneylerde 6, 9, 12, 15, 18 ve 21 dereceye sahip duvar açıları

kullanmıştır. Waldron (1994),  $\alpha=12^\circ$  duvar açısı değerine sahip labirent savaklarının en iyi debi performansını verdiğini belirtmiştir. Kendi yapmış olduğu trapez kesitli labirent savak deneylerinin sonuçları ile labirent savak içeren Ute, South Heart, Hyrum, Ritschard, Avon, Bartletts ve Bordman barajlarının ölçekli fiziksel modellerinden elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Waldron (1994) debi katsayısını ( $C_{d-Waldron}$ ) olarak aşağıdaki Denklem (3.6)'dan hesaplamıştır fakat bu formül boyutsuz değildir.

$$C_{d-Waldron} = 2/3 * C_d * \sqrt{2 * g} \quad (3.6)$$

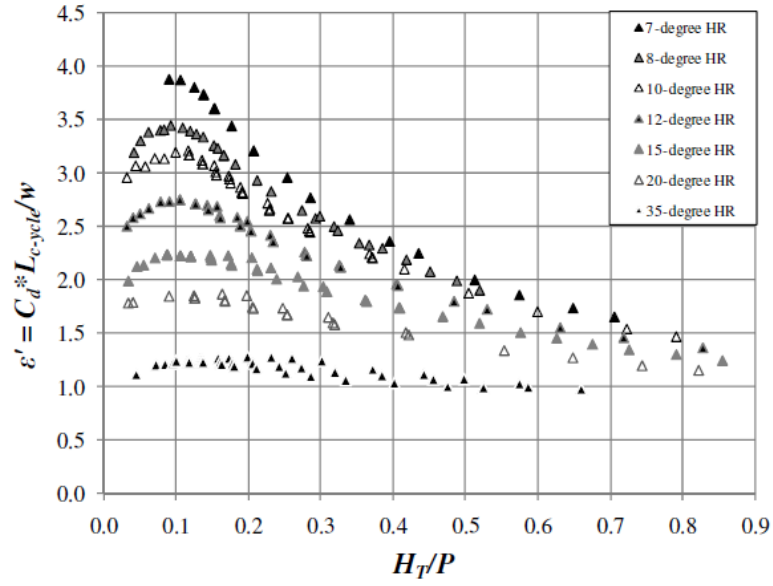
Tullis ve ark. (1995) geleneksel düz savak debi katsayısı formülü üzerinde ufak değişiklikler yaparak labirent savaklar için debi katsayısı  $C_{d-Tullis}$  ve ark elde etmişlerdir. Çalışmanın temeli; daha önceden Amanian (1987) ve; Waldron (1994) tarafından yapılan çalışmalara ve Stanley Gölü (Tullis ve ark., 1995) için yapılan deneysel çalışmalara dayanmaktadır. Deneysel çalışmalarda, 1/4 yuvarlak kret şekline sahip, iki farklı savak yüksekliği ve  $8 < \alpha < 35$  yan duvar açısı aralığı kullanmış ve deney sonuçları Elde ettiği sonuçları  $C_{d-Tullis}$  ve ark'nin  $H_T/P$  ve duvar açıları ( $\alpha$ ) ile değişimini grafikler halinde verilmiştir. Şekil 3.9'da görüldüğü üzere labirent savakların performansının daha doğru değerlendirilebilmesi için düz savaklara ait debi katsayıları da paylaşılmıştır. Labirent savakların diğer türdeki savaklara göre avantajlı olması için  $H_T/P$  oranının 0.9'dan küçük olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca  $w/P$  oranının  $3 \leq w/P \leq 4$  aralığında olması halinde labirent savakların hidrolik açıdan daha verimli ve ekonomik olacağını belirtmişlerdir. Denklem (3.7) sonucunda elde edilen  $C_{d-Tullis}$  ve ark boyutsuzdur ve uzunluk olarak efektif savak uzunluğu  $L_e$  kullanılmıştır. Tullis ve ark. (1995) tarafından önerilen dizayn grafikleri (Şekil 3.9) Amerika'nın Colorada eyaletinde bulunan Boyd Gölüne inşa edilecek olan taşkın labirent savaklarının tasarımında da kullanılmıştır (Brinker, 2005).

$$C_{d-Tullis \text{ ve ark}} = \frac{3 * Q}{2 * \sqrt{2g} * L_e * H_T^{1.5}} \quad (3.7)$$



**Şekil 3.9.** Trapez labirent savaklarda, debi katsayısı  $C_d$ 'nin, farklı yan duvar açıları ( $\alpha$ ) için  $H_T/P$  ile değişimi ve düz savaklar ile karşılaştırılması (Tullis ve ark., 1995).

Willmore (2004),  $7 \leq \alpha \leq 35$  derece yan duvar açısına,  $t=36.96$  mm duvar kalınlığına ve 1/2 dairesel, 1/4 dairesel ve ogee tipli tepe şekline sahip labirent savaklar üzerinde, debi katsayısını hesaplamak için deneyler yapmıştır. Kullandığı labirent savaklar trapez şeklinde olup 2 adet labirent döngüsü içermektedir. Nap akımlarının havalanma durumlarını  $H_T/P$  grafiklerinde belirtmiştir (Şekil 3.10). Yan duvar açısı azaldığında,  $C_d$  debi katsayısının azaldığı görülmüştür. Ayrıca labirent savakların memba kısmında oluşacak sediment birikmesinin, savakların performansına olacak etkileri de araştırmış ve Ogee tipi tepe şekline sahip savakların 1/2 ve 1/4 dairesel şekle sahip savaklardan daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.



**Şekil 3.10.** Trapez labirent savaklarda, debi katsayısı  $C_d$ 'nin, farklı yan duvar açıları ( $\alpha$ ) ve havalanma durumları için  $H_T/P$  ile değişimi (Willmore, 2004).

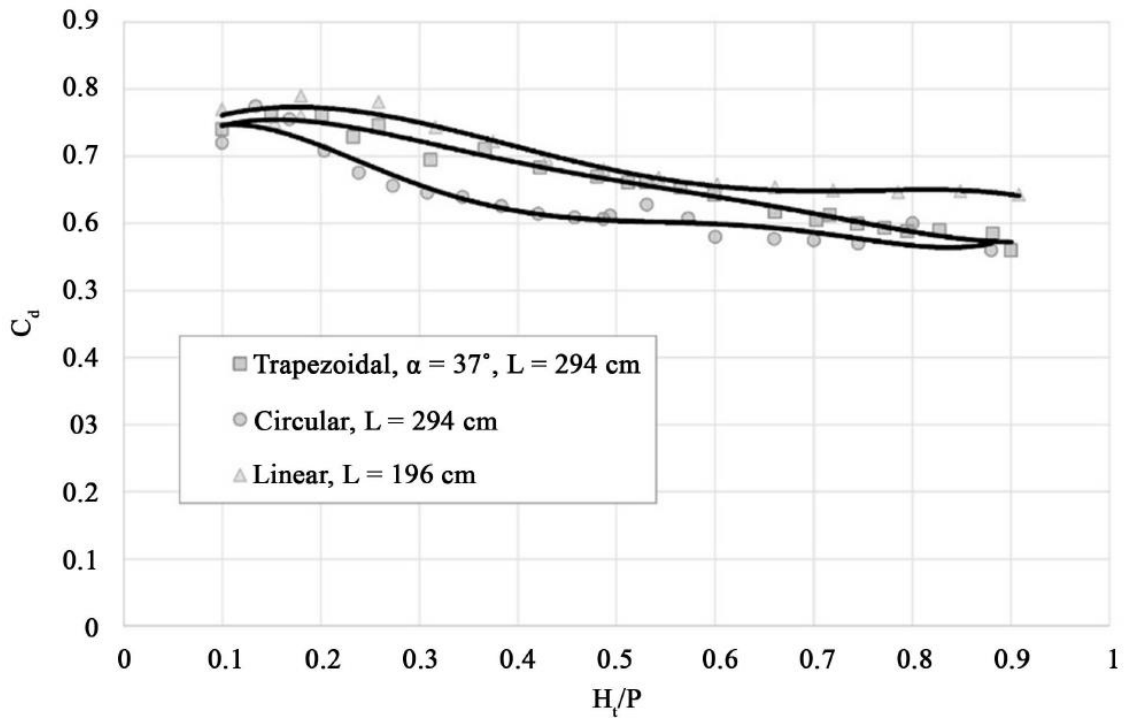
Emiroglu ve ark. (2009) bir açık kanalın yan duvarına yerleştirilen ve yan duvar açısı  $22.5^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$  arasında olan tek döngülü bir labirent savakğın debi katsayısını belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Elde edilen veriler kullanılarak debi katsayısı  $C_{d-Emiroglu}$  için (3.8) ile verilen ifade elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar debi katsayısına ( $C_{d-Emiroglu}$ ) karşılık Froude Sayısı ( $F_r$ ) ve debi katsayısına ( $C_{d-Emiroglu}$ ) karşılık boyutsuz savak yükü  $H_T/P$  olarak verilmiştir. Debi katsayısını ( $C_{d-Emiroglu}$ ) Denklem (3.8) ile ifade etmiştir.

$$C_{d-Emiroglu} = \left[ \frac{18.6 - 23.535 * \left(\frac{L}{b}\right)^{0.012} + 6.769 * \left(\frac{L}{l}\right)^{0.112} -}{0.502 * \left(\frac{P}{h_1}\right)^{4.024} + 0.094 * \sin(2 * \alpha) - 0.3939 * F_r^2} \right] \quad (3.8)$$

Crookston (2010), 1/2 daire ve 1/4 daire nap şekline sahip labirent savaklar üzerinde deneyler yapmıştır. Labirent savakların yan duvar açıları  $6 \leq \alpha \leq 35$  aralığında değişmektedir. Döngü sayısının yan duvar açısı seçimine olan etkisi üzerinde de durulmuştur. Ayrıca Crookston (2010) labirent savakları rezervuar üzerine farklı konfigürasyonlarda da yerleştirmiştir. Bu konfigürasyonlar; normal, ters, projeksiyon, düz, yuvarlak giriş ve yaylı çevrim konfigürasyonu olarak adlandırılmıştır. Yay şeklinde yerleştirilen labirent savakların yan duvar açıları 6 ve 12 derece arasında değişmektedir.

Farklı havalandırma koşullarının labirent savaklar üzerinden geçen debiye olan etkileri de araştırılmıştır. Sonuçlar  $H_T/P$  ye bağlı olarak boyutsuz grafikler halinde sunulmuştur.

Bilhan ve ark. (2016) trapez ve dairesel kesitli labirent savaklar üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır.  $N=3$  döngülü imal edilen trapez ve dairesel savaklarda  $P=10$  cm, 15 cm ve 20 cm savak yükseklikleri kullanmıştır. Trapez ve dairesel labirent savakların duvar kesişimde kullanılan apeks uzunlukları birbirine eşittir. Trapez savaklarda  $37^\circ \leq \alpha \leq 12^\circ$  aralığında yan duvar açıları kullanılmıştır. Ayrıca dairesel ve trapez labirent savakların hidrolik performansını arttırmak için savak duvarlarının üzerine nap kırıcıları eklemişlerdir. Bu çalışmanın devamı olarak Bilhan ve ark. (2018) nap kırıcıları eklenmiş dairesel labirent savakların FLOW-3D programını kullanarak nümerik modellerini de oluşturmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre Trapez labirent savakların debi katsayıları, dairesel labirent savaklara göre yüksek çıkmaktadır (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11.** Aynı net kret uzunluğuna ( $L_{net}=294$  cm) sahip trapez ve dairesel labirent savakların, debi katsayılarının ( $C_d$ ) karşılaştırılması (Bilhan ve ark, 2016)

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Dairesel ve Üçgen Savakların Deneysel Modellenmesi

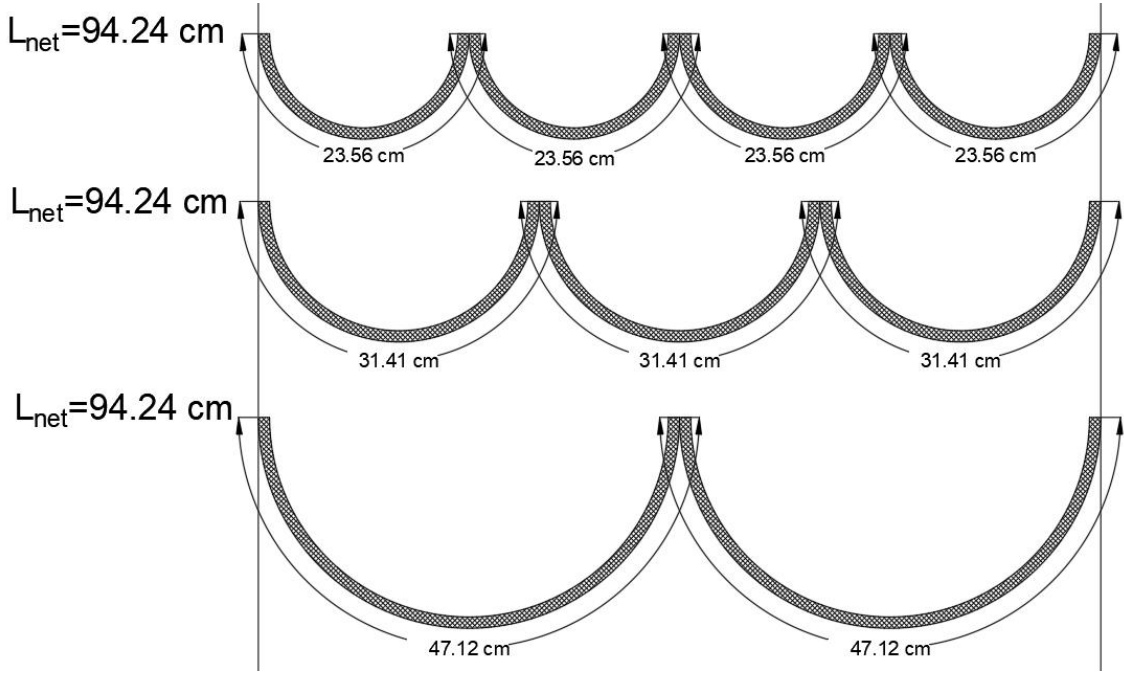
Dairesel savakların hidrolik özelliklerini belirlemek için bir açık kanal sisteminde dairesele savaklar üzerine deneyler yapılmıştır. Dairesel savakların hidrolik olarak ortaya koyduğu avantajları daha net bir şekilde belirtmek için öncelikli olarak üçgen ve düz (lineer) savaklar üzerine de deneyler yapılmıştır. Dairesel ve üçgen savaklar üzerinde deney yapılırken 2 temel parametre dikkate alınmıştır. Bunlar savak yüksekliği (P) ve kullanılan döngü sayısıdır (N). Deneylerde bu iki temel parametre değiştirilerek farklı deney düzenekleri hazırlanmıştır. Savak yüksekliğinin (P) ve döngü sayısının (N) değiştirilmesinin savakların performansına olan etkileri debi (Q) ve savak yükü ( $H_T$ ) ölçülerek araştırılmıştır. Aynı savak yükünde, savağın daha fazla debi deşarj etmesi, o savağın daha verimli olduğunu göstermektedir.

Dairesel ve üçgen savaklar üzerinde deneyler yapılırken farklı yerleşim konfigürasyonları oluşturulmuştur. Aynı savak yüksekliğine ve döngü sayısına sahip savakları farklı konfigürasyonlarda yerleştirmedeki amaç, bunların akım üzerine olan etkisini incelemektir. Bu konfigürasyonların isimlendirmeleri, savakların kanaldaki yerleşimlerinin akım yönüyle olan etkileşimlerine ve savaklarda kullanılan döngü sayısına bağlı olarak verilmiştir. Yerleştirilen savaklardaki döngülerin uç çıkıntılarının mansap veya memba tarafında olmasına bağlı olarak “düz” veya “ters” olarak isimlendirilmiştir. Döngülerin uç kısımları mansap tarafında ise “düz”, uç çıkıntıları memba tarafında ise “ters” olarak isimlendirilmişlerdir. Savaklardaki döngülerin uç kısımlarının hepsinin tek bir tarafa dönük olarak yerleştirilmeyip, bir süreklilik sağlayacak şekilde yerleştirilmesi ise “asimetrik” yerleşim olarak adlandırılmıştır. Dairesel savaklar kanala düz, ters ve asimetrik olarak yerleştirilirken, üçgen savaklar ise sadece düz olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca tez çalışması içerisinde, bahsedilen savak kesitinin dairesele veya üçgen savak olduğunu belirtmek için de konfigürasyon isimlerinde buna da yer verilmiştir.

Dairesel ve üçgen kesitli labirent savaklarda kullanılan göz sayısı (N) artırıldıkça veya azaltıldıkça tek bir döngüde bulunan savağın net kret uzunluğu ( $L_c$ ) değişirken, labirent savağın toplam kret uzunluğu ( $L_{net}$ ) ise sabit kalmaktadır.

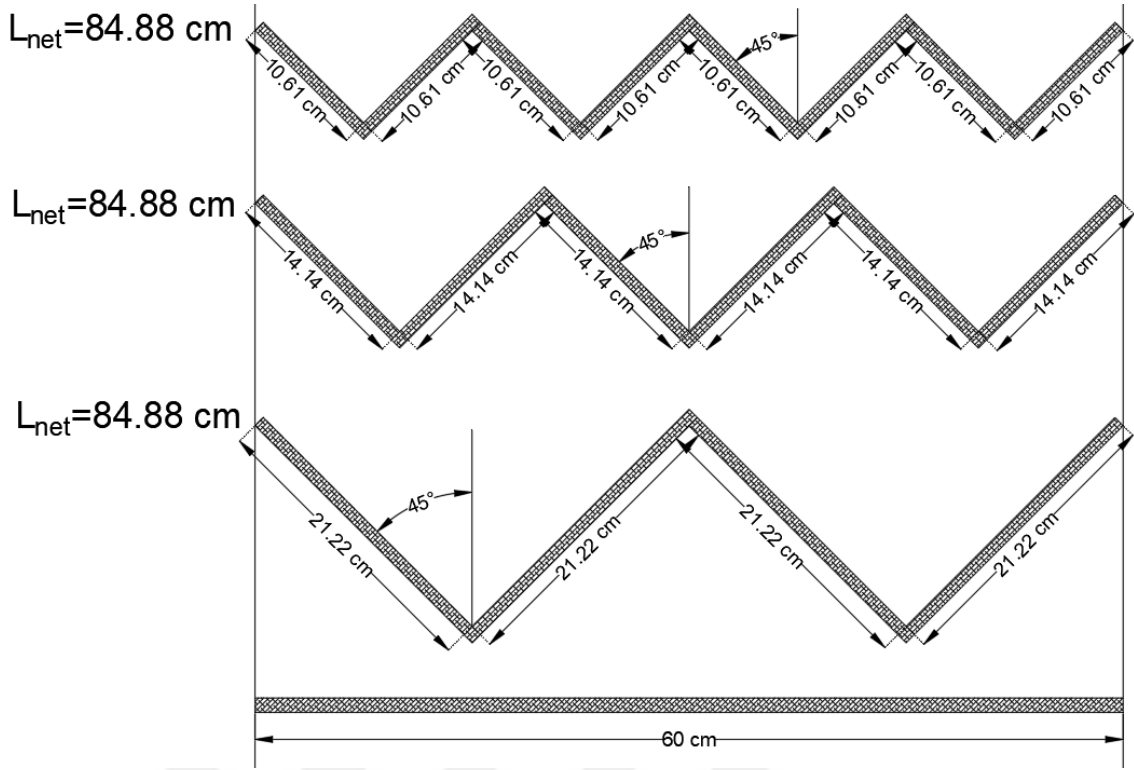
Dairesel kesitli savaklarda da aynı durum oluşmaktadır. Dairesel kesitli savaklarda toplam net kret uzunluğu ( $L_{net}$ ), döngü sayısından (N) ve savak yüksekliğinden

(P) bağımsız olarak bütün konfigürasyon için  $L_{net}=94.24$  cm'dir. 2'li düz dairesel savakta, tek bir döngünün uzunluğu  $(L_c)_{2-düz-daire}=47.12$  cm, 3'lü düz dairesel savakta, tek bir döngünün uzunluğu  $(L_c)_{3-düz-üçgen}=31.41$  cm ve 4'lü düz üçgen savakta, tek bir döngünün uzunluğu  $(L_c)_{4-düz-üçgen}=23.56$  cm olmaktadır (Şekil 4.1). Bu uzunluklar toplam göz sayısı ile çarpıldığında,  $N \times L_c$  dairesel savaklar için toplam net kret uzunluğu olan  $L_{net}=94.24$  cm'yi verecektir.



Şekil 4.1. Dairesel savakların döngü sayısına bağlı olarak  $L_{net}$  uzunlukları

Bu yapılan çalışmada üçgen kesitli labirent savakların duvar açıları değiştirilmediği ve sabit olarak  $\alpha=45^\circ$  alındığı için, üçgen kesitli savaklarda toplam net kret uzunluğu, döngü sayısından (N) ve savak yüksekliğinden (P) bağımsız olarak bütün konfigürasyon için  $L_{net}=84.88$  cm'dir. 2'li düz üçgen savakta, tek bir döngünün uzunluğu  $(L_c)_{2-düz-üçgen}=42.44$  cm, 3'lü düz üçgen savakta, tek bir döngünün uzunluğu  $(L_c)_{3-düz-üçgen}=28.28$  cm ve 4'lü düz üçgen savakta, tek bir döngünün uzunluğu  $(L_c)_{4-düz-üçgen}=21.22$  cm olmaktadır (Şekil 4.2). Bu uzunluklar toplam göz sayısı ile çarpıldığında,  $N \times L_c$  toplam kret uzunluğunu verecektir. Toplam kret uzunluğu kullanılan üçgen savak konfigürasyonları için 2 düz üçgen, 3 düz üçgen ve 4 düz üçgen için  $L_{net} = 84.88$  cm olmaktadır. Düz (lineer) savaklarda ise net kret uzunluğu  $L_{net}=60$  cm olmaktadır.



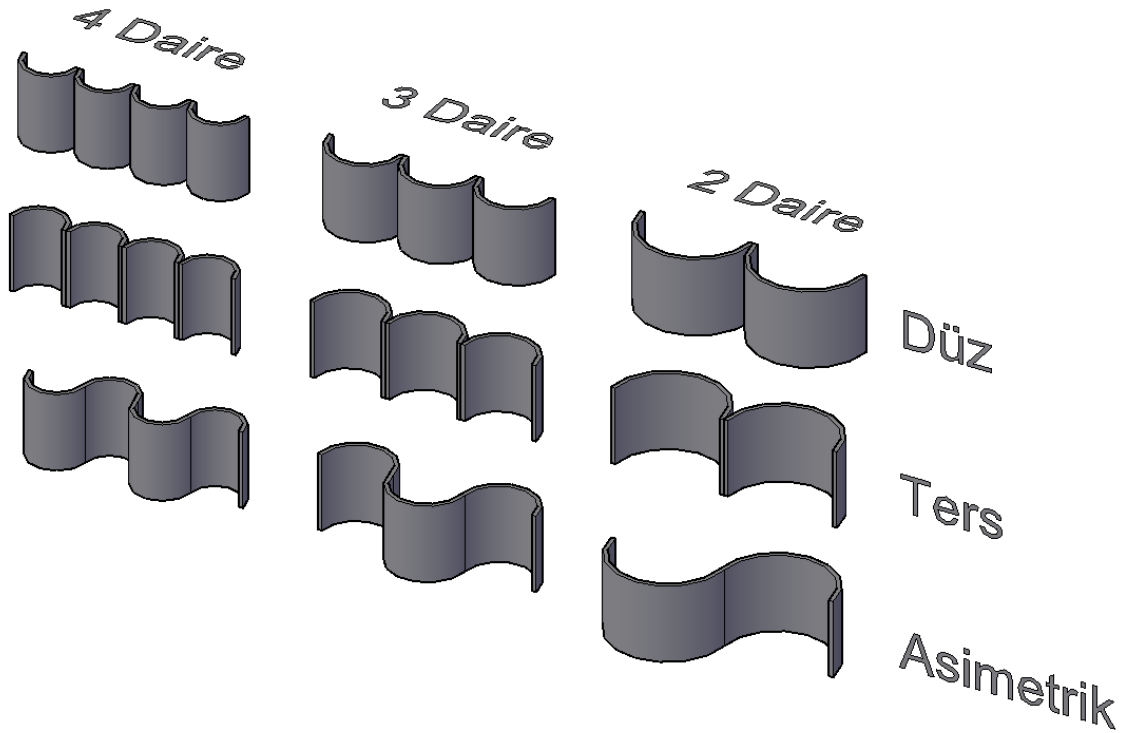
Şekil 4.2. Üçgen savakların döngü sayısına bağlı olarak  $L_{net}$  uzunlukları

Deneylerde dairesel, üçgen ve düz kesitli labirent savaklar için  $P=20$  cm,  $P=30$  cm ve  $P=40$  cm olmak üzere 3 farklı savak yüksekliği ( $P$ ) kullanılmıştır. Savak yüksekliğinin akıma olan etkisini daha net bir şekilde gözlemleyebilmek için, savak yükseklikleri her seferinde %50 arttırılmıştır. Savaklarda kullanılacak döngü sayısı  $N=2$ ,  $N=3$  ve  $N=4$  olarak belirlenmiştir. 4'ün üzerinde döngü sayısının kullanılmamasının sebebi, döngü sayısı arttıkça labirent savağın sağlamış olduğu kret uzunluğu avantajının ortadan kalkmasıdır ve labirent savak düz bir savak gibi davranmaktadır. Daha önceden, üçgen ve daire savakların, döngü sayısı değişmesine karşın, toplam kret uzunluğunun sabit kaldığı belirtilmişti, fakat döngü sayısı arttıkça labirent savaklarda oluşacak girişim bölgelerinin sayısı da artmaktadır. Girişim bölgelerinin sayısının ve etkilediği alanların artması labirent savağın net kret uzunluğunu azaltmaktadır.

Bu çalışmada yapılan düz (lineer), üçgen ve dairesel savak deneyleri aşağıda tablolar ve şekiller ile anlatılmıştır. Bu tablo ve şekillerde kullanılan savakların konfigürasyonları, savak yükseklikleri ( $P$ ), döngü sayıları ( $N$ ), döngü kret uzunlukları ( $L_c$ ) ve tek bir döngünün plan görünümündeki ( $w$ ) uzunlukları verilmiştir. Düz savaklarda herhangi bir konfigürasyon durumu olmadığı için, düz (lineer) savaklar ile 3 farklı savak yüksekliği için,  $P=20$  cm,  $P=30$  cm ve  $P=40$  cm için toplamda 3 adet deney yapılmıştır.

Dairesel savaklarla yapılan deneylerde akımı etkileyen en önemli iki faktör savakların şekli ve savak yüksekliğidir. Savakların şekli, kullanılan yarım daire savak sayısına (N ile ifade edilmiştir) ve savakların kanala düz, ters veya asimetrik konfigürasyona göre yerleştirilmesine bağlı olarak değişmektedir. Deneysel sonuçlar değerlendirilirken ve savakların birbirlerine göre performansları karşılaştırılırken bu iki durum göz önüne alınmıştır.

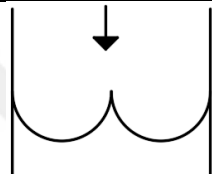
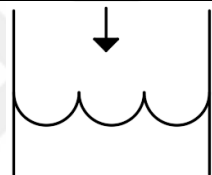
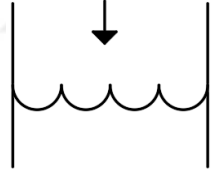
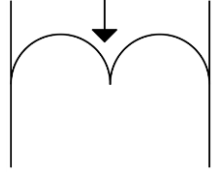
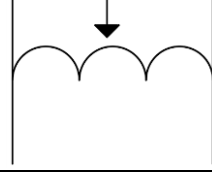
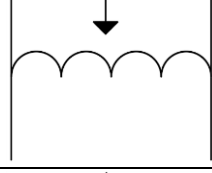
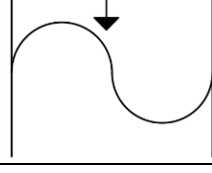
Dairesel savak deneylerinde üçgen savakların aksine düz, ters ve asimetrik yerleşim konfigürasyonları kullanılmıştır ve bunların 3 boyutlu görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3'ten de görüldüğü gibi her bir savak yüksekliği için 9 farklı savak konfigürasyonu kullanılmıştır. Tek bir savak yüksekliğinde dairesel savaklarda yapılan deney konfigürasyonları, 2 düz daire, 3 düz daire, 4 düz daire, 2 ters daire, 3 ters daire, 4 ters daire, 2 asimetrik daire, 3 asimetri daire ve 4 asimetri daire şeklindedir. Bu 9 farklı konfigürasyon her bir savak yüksekliği için ( $P=20$  cm,  $P=30$  cm ve  $P=40$  cm) tekrarlanmıştır.



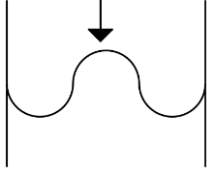
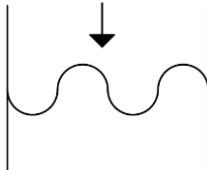
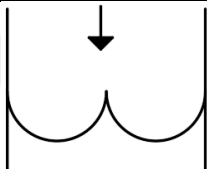
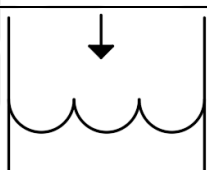
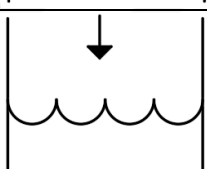
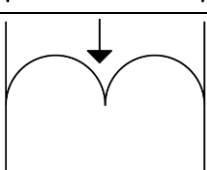
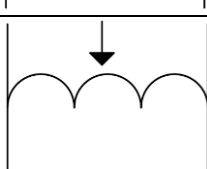
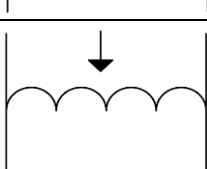
Şekil 4.3. Tek bir savak yüksekliğinde (P) deneyleri yapılan dairesel savaklar

Dairesel savaklara ait deney setleri toplamda 27 adet deney düzeneğinden oluşmakta olup bunlar, Deney No: 1 - Deney No: 27 arasında adlandırılmışlardır. Yapılan deneyler Tablo 4.1.'de görülmektedir. Dairesel savaklar kanala düz, ters ve asimetrik olmak üzere 3 farklı konfigürasyonlarda yerleştirilmiştir. Bu deneylerde  $P=20$  cm,  $P=30$  cm ve  $P=40$  cm olmak üzere 3 farklı savak yüksekliği kullanılmıştır.

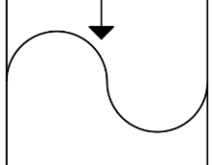
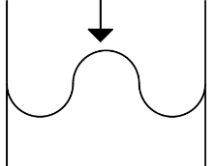
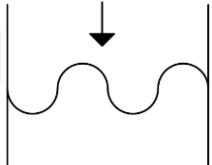
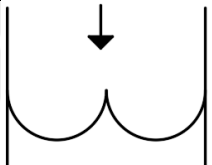
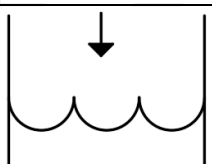
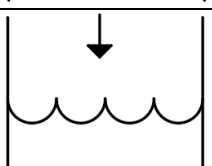
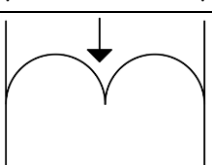
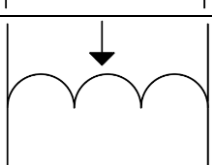
**Tablo 4.1.** Dairesel savak deneyleri

| Deney No: | Savak Kesit Tipi | Konfigürasyon (Kanala Yerleşim)                                                     | Savak yüksekliği (P) | Göz (döngü) sayısı (N) | Tek döngünün kret uzunluğu ( $L_c$ ) | Tek döngünün plan gör. uzunluğu (w) |
|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1         | Daire            |    | 20 cm                | 2                      | 47.12                                | 30 cm                               |
| 2         | Daire            |   | 20 cm                | 3                      | 31.41                                | 20 cm                               |
| 3         | Daire            |  | 20 cm                | 4                      | 23.56                                | 15 cm                               |
| 4         | Daire            |  | 20 cm                | 2                      | 47.12                                | 30 cm                               |
| 5         | Daire            |  | 20 cm                | 3                      | 31.41                                | 20 cm                               |
| 6         | Daire            |  | 20 cm                | 4                      | 23.56                                | 15 cm                               |
| 7         | Daire            |  | 20 cm                | 2                      | 47.12                                | 30 cm                               |

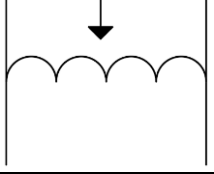
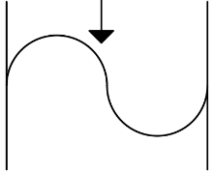
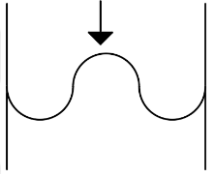
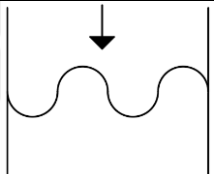
**Tablo 4.1.** Dairesel savak deneyleri (devamı)

| Deney No: | Savak Kesit Tipi | Konfigürasyon (Kanala Yerleşim)                                                     | Savak yüksekliği (P) | Göz (döngü) sayısı (N) | Tek döngünün kret uzunluğu (L <sub>c</sub> ) | Tek döngünün plan gör. uzunluğu (w) |
|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| 8         | Daire            |    | 20 cm                | 3                      | 31.41                                        | 20 cm                               |
| 9         | Daire            |    | 20 cm                | 4                      | 23.56                                        | 15 cm                               |
| 10        | Daire            |    | 30 cm                | 2                      | 47.12                                        | 30 cm                               |
| 11        | Daire            |   | 30 cm                | 3                      | 31.41                                        | 20 cm                               |
| 12        | Daire            |  | 30 cm                | 4                      | 23.56                                        | 15 cm                               |
| 13        | Daire            |  | 30 cm                | 2                      | 47.12                                        | 30 cm                               |
| 14        | Daire            |  | 30 cm                | 3                      | 31.41                                        | 20 cm                               |
| 15        | Daire            |  | 30 cm                | 4                      | 23.56                                        | 15 cm                               |

**Tablo 4.1.** Dairesel savak deneyleri (devamı)

| Deney No: | Savak Kesit Tipi | Konfigürasyon (Kanala Yerleşim)                                                     | Savak yüksekliği (P) | Göz (döngü) sayısı (N) | Tek döngünün kret uzunluğu (L <sub>c</sub> ) | Tek döngünün plan gör. uzunluğu (w) |
|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| 16        | Daire            |    | 30 cm                | 2                      | 47.12                                        | 30 cm                               |
| 17        | Daire            |    | 30 cm                | 3                      | 31.41                                        | 20 cm                               |
| 18        | Daire            |    | 30 cm                | 4                      | 23.56                                        | 15 cm                               |
| 19        | Daire            |   | 40 cm                | 2                      | 47.12                                        | 30 cm                               |
| 20        | Daire            |  | 40 cm                | 3                      | 31.41                                        | 20 cm                               |
| 21        | Daire            |  | 40 cm                | 4                      | 23.56                                        | 15 cm                               |
| 22        | Daire            |  | 40 cm                | 2                      | 47.12                                        | 30 cm                               |
| 23        | Daire            |  | 40 cm                | 3                      | 31.41                                        | 20 cm                               |

**Tablo 4.1.** Dairesel savak deneyleri (devamı)

| Deney No: | Savak Kesit Tipi | Konfigürasyon (Kanala Yerleşim)                                                    | Savak yüksekliği (P) | Göz (döngü) sayısı (N) | Tek döngünün kret uzunluğu (L <sub>c</sub> ) | Tek döngünün plan gör. uzunluğu (w) |
|-----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| 24        | Daire            |   | 40 cm                | 4                      | 23.56                                        | 15 cm                               |
| 25        | Daire            |   | 40 cm                | 2                      | 47.12                                        | 30 cm                               |
| 26        | Daire            |   | 40 cm                | 3                      | 31.41                                        | 20 cm                               |
| 27        | Daire            |  | 40 cm                | 4                      | 23.56                                        | 15 cm                               |

Deneylerde kullanılan dairesel, üçgen ve düz savakların tepesi düz kret şekline sahiptir. Savakların tepesinde herhangi bir pahlama (yuvarlaklık) bulunmadığı için kret kalınlığı, savakların duvar kalınlığına eşit olmaktadır.

Deneylerde kullanılan düz, üçgen ve dairesel savaklar pleksiglas (akrilik) levhalardan imal edilmiştir. Pleksiglas malzeme, cam kadar şeffaf bir malzeme olmasına karşın, cam kadar kırılkan değildir. Pleksiglas levhalar, plazma veya testere ile kesilerek istenilen boyutla elde edilebilmektedir. Ayrıca pleksiglas malzemenin belirli bir derece ısıya ulaştığında kalıplanarak şekil verilebilme özelliği bulunmaktadır. Düz ve üçgen savakların imalatı yapılırken pleksiglas levhaların sadece belirli bir ölçüde kesilerek birleştirilmesi yeterli olurken, dairesel savakların imalatında ısıtılarak kalıplama gerekmektedir. İmalatı yapılan savaklar kanala su geçirmez silikon ile yapıştırılarak tutturulmuştur. Silikon sayesinde suyun sadece savakların üzerinden geçmesi sağlanmakta, savak duvarlarının aralarından, yanlarından ve altından geçmesi engellenmektedir. Bazı durumlarda savak döngülerinin birleştirilmesi işleminde sadece silikon yeterli olmamaktadır. Savak yüksekliği arttıkça savağın arkasında suyun

oluşturduğu kuvvet artmakta ve savaklar sadece silikon ile bu yükü taşıyamamaktadır. Böyle durumlarda savak döngülerinin duvarları dayanıklılığı arttırmak için vida ile birbirlerine tutturulmuştur. Dairesel savaklar, üçgen savaklara göre daha fazla kret uzunluğu sağladığından memba tarafındaki duvar yüzey alanları da fazla olmaktadır.  $P=40$  cm savak yüksekliğine sahip dairesele savaklar ile yapılan deneylerde sadece silikon ile birleştirilerek ve kanala yerleştirilen savaklar, arkasındaki yükü taşıyamamakta ve devrilmektedirler. Savakların dayanımını arttırmak için bu savaklar ince halatlar ile arka taraflarından gerdirilerek sağlamlaştırılmışlardır.

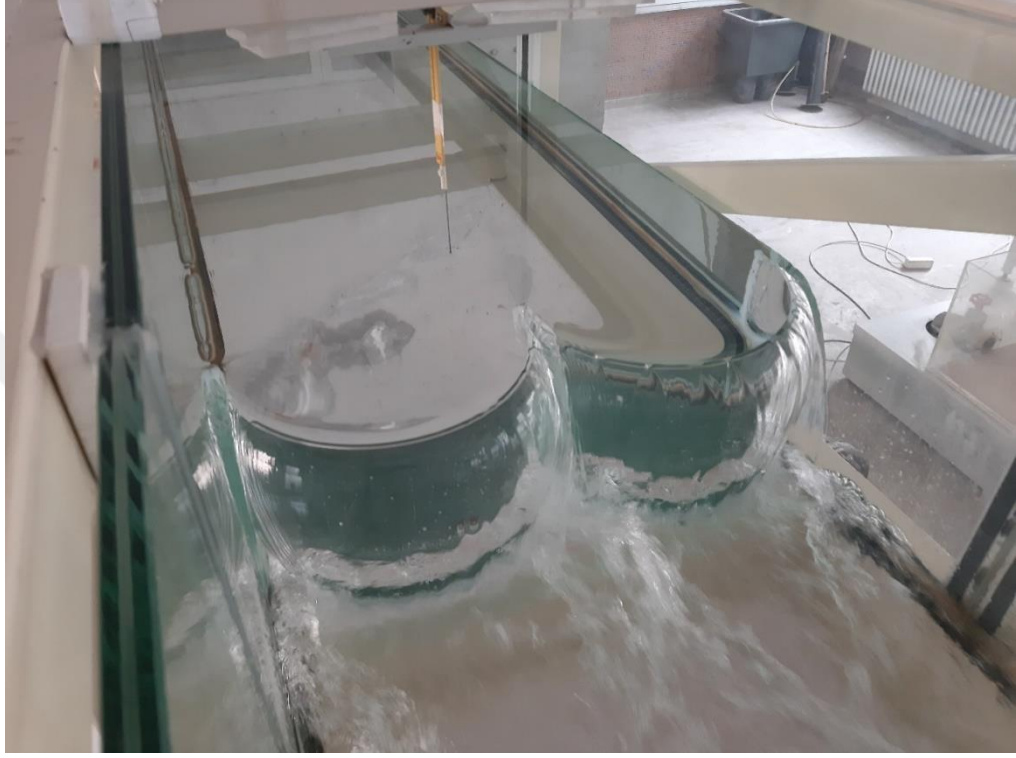
Savak imalatında, dairesele savaklar için 6 mm kalınlığında pleksiglas kullanılırken, üçgen ve düz savaklarda 10 mm kalınlığında pleksiglas kullanılmıştır. Üçgen savaklarda daha kalın pleksiglas levha kullanılmasıdaki amaç savak duvarlarının birbirlerine vida ile rahat tutturulmalarını sağlamasıdır. Dairesel kesitli savaklar, düz pleksiglas tabakaların etüvde belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra kalıplanmasıyla elde edilmiştir (Şekil 4.4). Düz plaka halindeki pleksiglaslar ilk olarak etüvde  $180\text{ C}^{\circ}$  kadar ısıtılmıştır. Bu ısıtılma sürecinde pleksiglas malzemenin zarar görmemesi için sıcaklık kademeli olarak artırılmıştır. Bu sıcaklık pleksiglas levhaların şeffaflığını ve fiziksel özelliklerini kaybetmeyeceği optimum sıcaklık olup, levhalara şekil bu sıcaklıkta verilebilmektedir. Isıtılan levhalar daha sonra suntadan yapılmış kalıpların arasına konularak istenilen çaplardaki ve savak yüksekliğindeki dairesele savaklara dönüştürülmüştür.



**Şekil 4.4.** Pleksiglas tabakaların etüvde ısıtılarak kalıplarda şekillenmesi

İmalatı yapılan ve kanala yerleştirilen dairesele savaklar Şekil 4.5 - Şekil 4.30 arasında görülmektedir.  $N=2$  adet yarım daire içeren savakta kullanılan dairelerin çapı

$D=300$  mm,  $N=3$  adet yarın daire içeren savakta kullanılan dairelerin çapı  $D=200$  mm,  $N=4$  adet yarın daire içeren savakta kullanılan dairelerin çapı ise  $D=150$  mm'dir. İmal edilen savakların yüksekliği  $P=20$  cm'dir.



**Şekil 4.5.**  $P=20$  cm için 2 düz daire labirent savak (Deney No: 1)



Şekil 4.6.  $P=20$  cm için 3 düz daire labirent savak (Deney No: 2)



Şekil 4.7.  $P=20$  cm için 4 düz daire labirent savak (Deney No: 3)



Şekil 4.8.  $P=20$  cm için 2 ters daire labirent savak (Deney No: 4)



Şekil 4.9.  $P=20$  cm için 3 ters daire labirent savak (Deney No: 5)



Şekil 4.10.  $P=20$  cm için 4 ters daire labirent savak (Deney No: 6)



Şekil 4.11.  $P=20$  cm için 2 asimetrik daire labirent savak (Deney No: 7)



Şekil 4.12.  $P=20$  cm için 3 asimetric daire labirent savak (Deney No: 8)



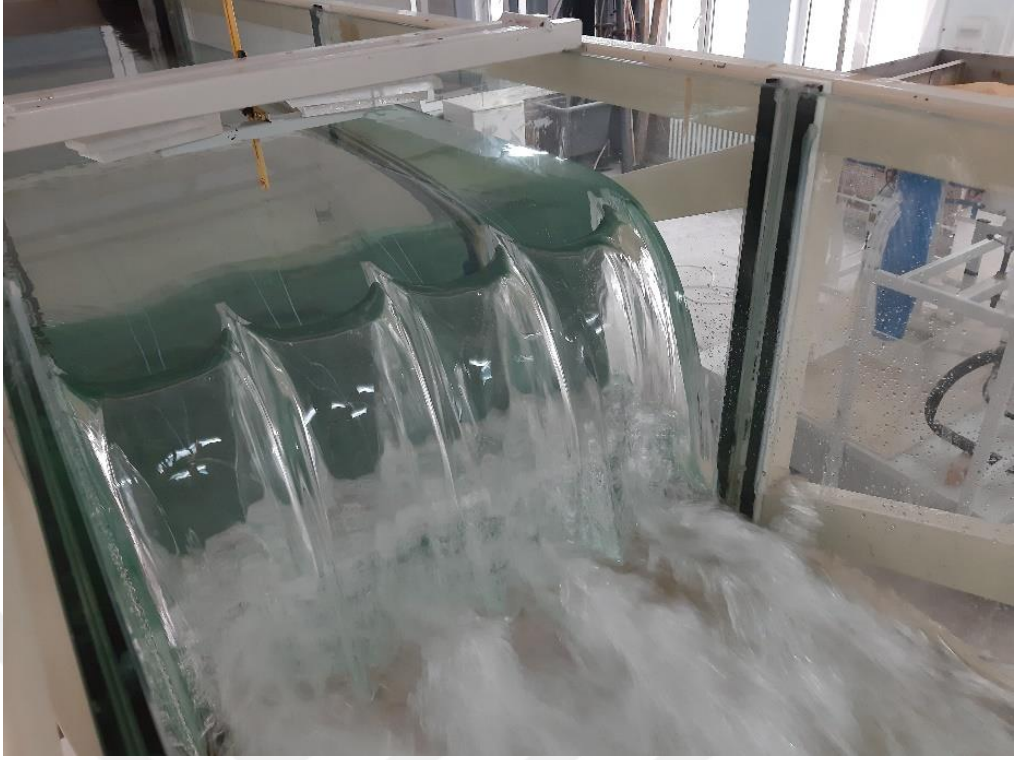
Şekil 4.13.  $P=20$  cm için 4 asimetric daire labirent savak (Deney No: 9)



Şekil 4.14.  $P=30$  cm için 2 düz daire labirent savak (Deney No: 10)



Şekil 4.15.  $P=30$  cm için 3 düz daire labirent savak (Deney No: 11)



Şekil 4.16.  $P=30$  cm için 4 düz daire labirent savak (Deney No: 12)



Şekil 4.17.  $P=30$  cm için 2 ters daire labirent savak (Deney No: 13)



Şekil 4.18.  $P=30$  cm için 3 ters daire labirent savak (Deney No: 14)



Şekil 4.19.  $P=30$  cm için 4 ters daire labirent savak (Deney No: 15)



Şekil 4.20.  $P=30$  cm için 2 asimetric daire labirent savak (Deney No: 16)



Şekil 4.21.  $P=30$  cm için 3 asimetric daire labirent savak (Deney No: 17)



Şekil 4.22.  $P=30$  cm için 4 asimetrik daire labirent savak (Deney No: 18)



Şekil 4.23.  $P=40$  cm için 2 düz daire labirent savak (Deney No: 19)



Şekil 4.24.  $P=40$  cm için 3 düz daire labirent savak (Deney No: 20)



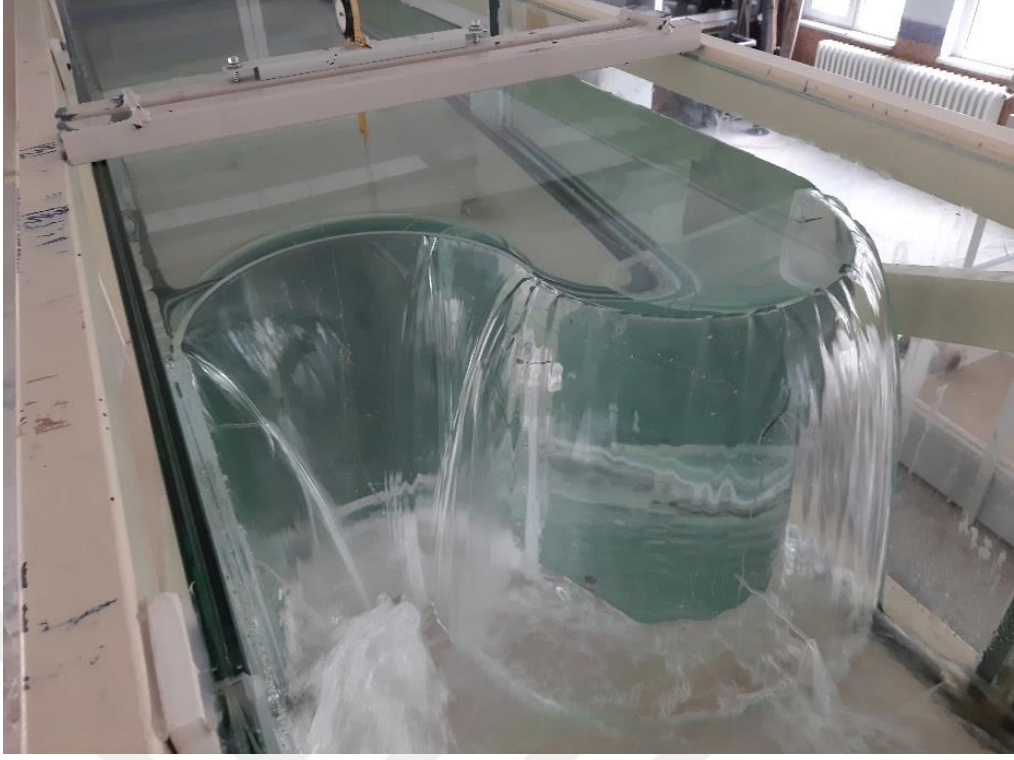
Şekil 4.25.  $P=40$  cm için 4 düz daire labirent savak (Deney No: 21)



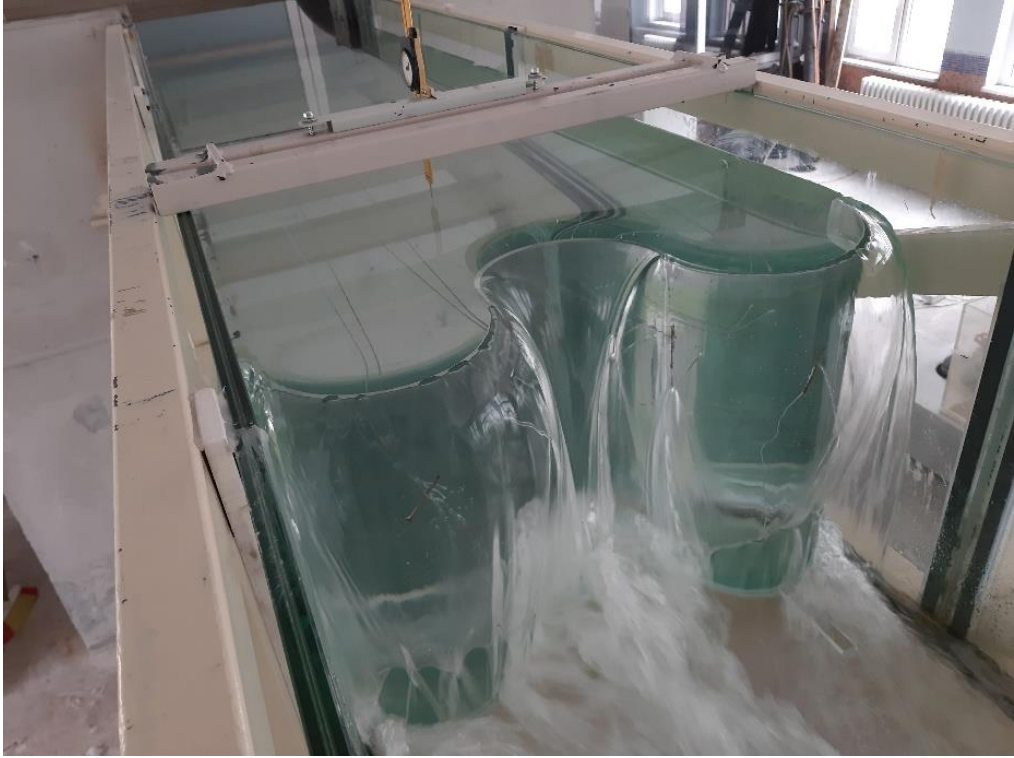
Şekil 4.26.  $P=40$  cm için 2 ters daire labirent savak (Deney No: 22)



Şekil 4.27.  $P=40$  cm için 3 ters daire labirent savak (Deney No: 23)



Şekil 4.28.  $P=40$  cm için 2 asimetric daire labirent savak (Deney No: 25)



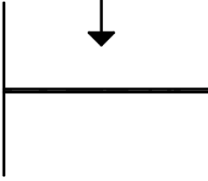
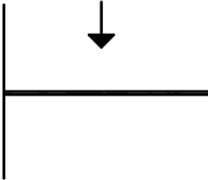
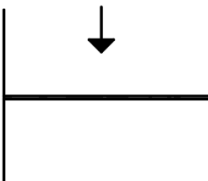
Şekil 4.29.  $P=40$  cm için 3 asimetric daire labirent savak (Deney No: 26)



**Şekil 4.30.**  $P=40$  cm için 4 asimetrik daire labirent savak (Deney No: 27)

Düz savak ile yapılan deneyler Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Her deney setinde savak uzunluğu kanal genişliğine eşit olup  $L_c=60$  cm’dir.

**Tablo 4.2.** Düz savak deneyleri

| Deney No: | Savak Kesit Tipi | Konfigürasyon (Kanala Yerleşim)                                                     | Savak yüksekliği (P) | Göz (döngü) sayısı (N) | Tek döngünün kret uzunluğu ( $L_c$ ) | Tek döngünün plan gör. genişliği (w) |
|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 28        | Düz              |  | 20 cm                | -                      | 60 cm                                | 60 cm                                |
| 29        | Düz              |  | 30 cm                | -                      | 60 cm                                | 60 cm                                |
| 30        | Düz              |  | 40 cm                | -                      | 60 cm                                | 60 cm                                |

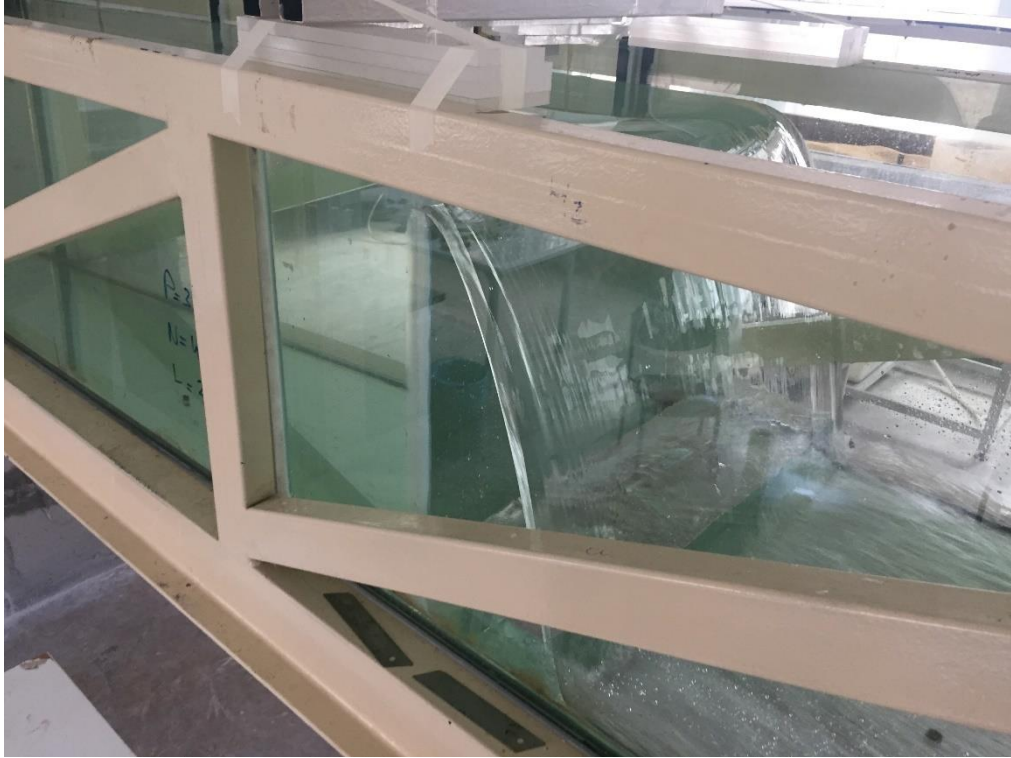
Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de sırasıyla  $P=20$  cm,  $P=30$  cm ve  $P=40$  cm için düz savaklar üzerinde yapılan deney setleri görülmektedir. Düz savaklarda yapılan deneylerin hepsinde nap akımı belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. Düz savak deneylerinde nap akımı yapay olarak havalandırılmamakta ve nap akımı kendinden havalı bir şekilde dengede akmaktadır. Savak üzerindeki, savak yükü arttıkça bu havalanma miktarı da azalmaktadır. Düz savaklarda yapılan deneylerde, nap akımının oluşmasına dikkat edilmiş, deneysel verilerin hepsi nap akımı durumunda elde edilmiştir. Nap akımının altındaki havalanmanın bitip, akımın yapışık akım durumuna geçtiği andan sonra veri alınmamıştır. Çünkü savakların mansap tarafında havalanma olmaması ile meydana gelen yapışık akım durumunda, aynı savak yükünde nap akımına göre daha fazla debi geçmektedir. Bunun sebebi, havalanmanın bitmesiyle mansap tarafında oluşan negatif basınç (vakum) etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.31.  $P=20$  cm için düz savak ile yapılan deney (Deney No: 28)



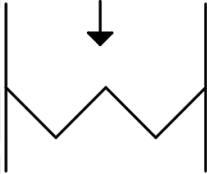
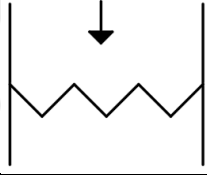
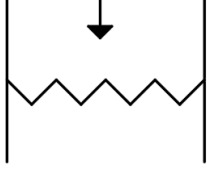
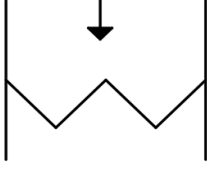
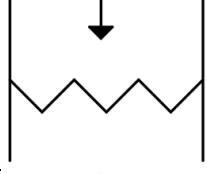
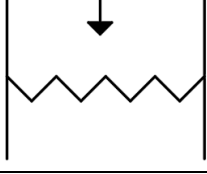
Şekil 4.32.  $P=30$  cm için düz savak ile yapılan deney (Deney No: 29)



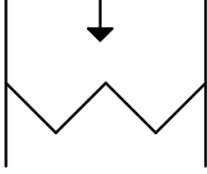
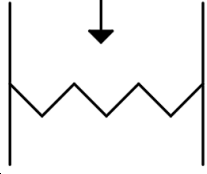
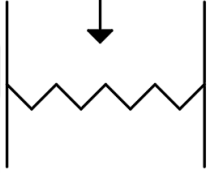
Şekil 4.33.  $P=40$  cm için düz savak ile yapılan deney (Deney No: 30)

Üçgen savaklar ile toplamda 9 adet deney (Deney No:31 - Deney No:39) yapılmıştır. Üçgen savaklar ile yapılan deneylerde kullanılan konfigürasyonlar ve savak yüksekliği, döngü sayısı, tek bir üçgen döngüsüne ait net kret uzunluğu ve üçgen savakların plan görünümündeki genişlikleri Tablo 4.3.'te verilmiştir. Üçgen savakların bütün konfigürasyonlarında  $\alpha=45^\circ$  duvar açısı kullanılmıştır ve üçgen savakların duvarlarının birleşim yerindeki açı değeri bu yüzden  $\alpha=90^\circ$  olmaktadır. Üçgen savaklar ile sadece düz konfigürasyonda deneyler yapılmış, ters ve asimetrik yerleşim konfigürasyon deneyleri yapılmamıştır.

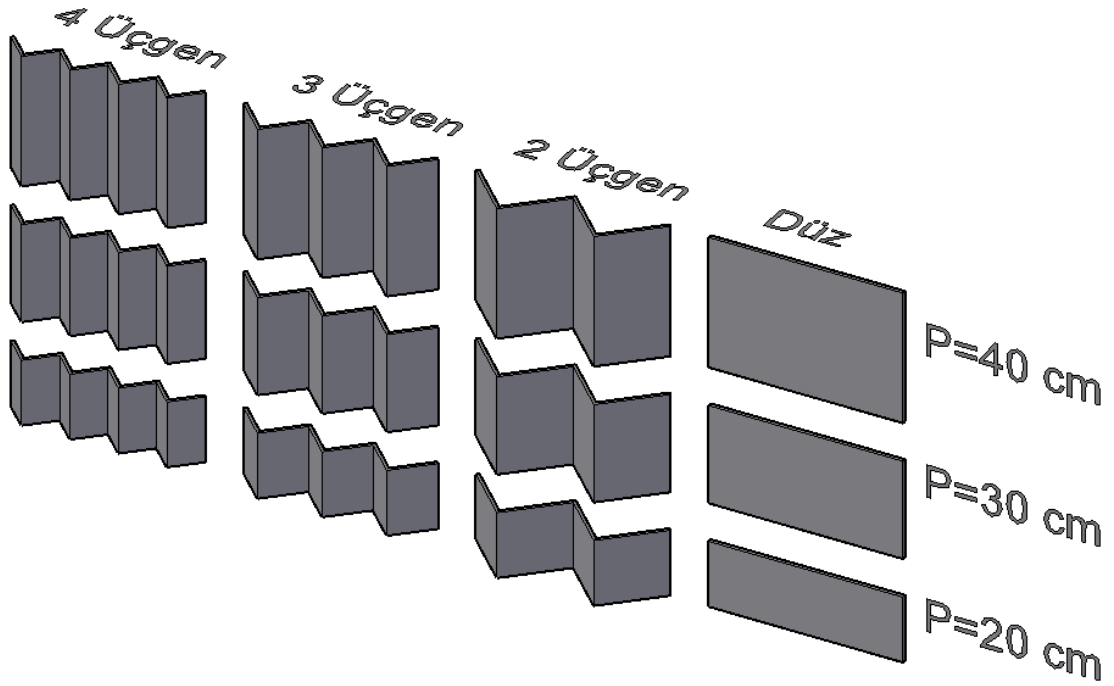
**Tablo 4.3.** Üçgen savak deneyleri

| Deney No: | Savak Kesit Tipi | Konfigürasyon (Kanala Yerleşim)                                                     | Savak yüksekliği (P) | Göz (döngü) sayısı (N) | Tek döngünün kret uzunluğu (Lc) | Tek döngünün plan gör. genişliği (w) |
|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 31        | Üçgen            |   | 20 cm                | 2                      | 42.44 cm                        | 30 cm                                |
| 32        | Üçgen            |  | 20 cm                | 3                      | 28.29 cm                        | 20 cm                                |
| 33        | Üçgen            |  | 20 cm                | 4                      | 21.22 cm                        | 15 cm                                |
| 34        | Üçgen            |  | 30 cm                | 2                      | 42.44 cm                        | 30 cm                                |
| 35        | Üçgen            |  | 30 cm                | 3                      | 28.29 cm                        | 20 cm                                |
| 36        | Üçgen            |  | 30 cm                | 4                      | 21.22 cm                        | 15 cm                                |

**Tablo 4.3.** Üçgen savak deneyleri (devamı)

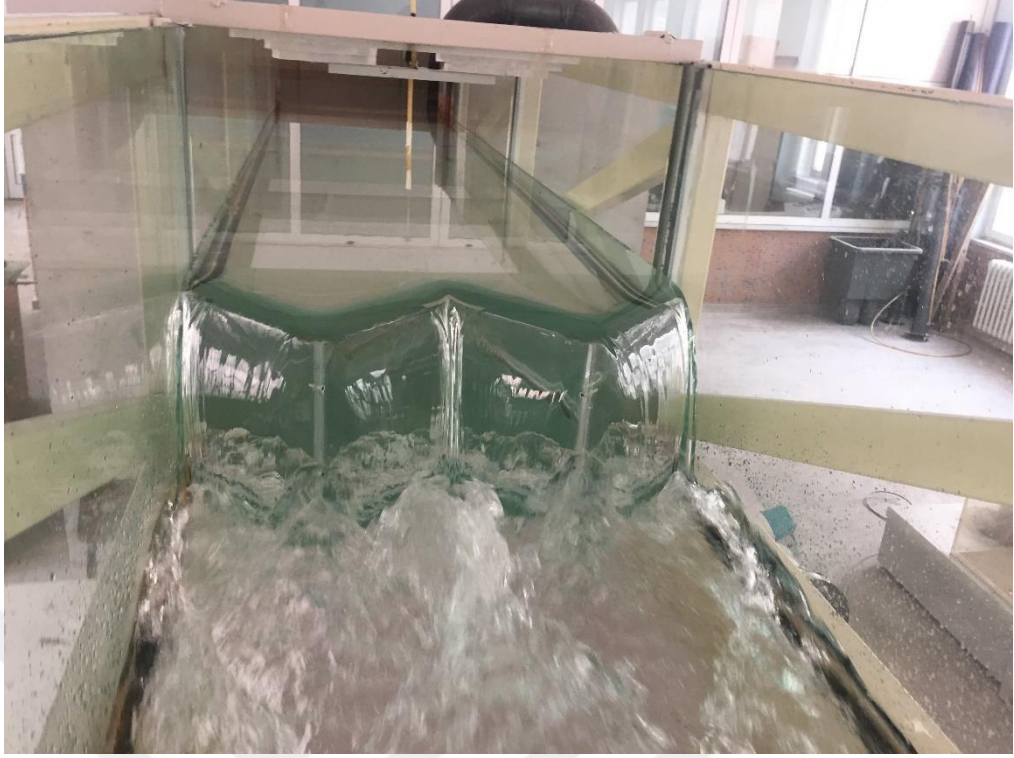
| Deney No: | Savak Kesit Tipi | Konfigürasyon (Kanala Yerleşim)                                                   | Savak yüksekliği (P) | Göz (döngü) sayısı (N) | Tek döngünün kret uzunluğu (Lc) | Tek döngünün plan gör. genişliği (w) |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 37        | Üçgen            |  | 40 cm                | 2                      | 42.44 cm                        | 30 cm                                |
| 38        | Üçgen            |  | 40 cm                | 3                      | 28.29 cm                        | 20 cm                                |
| 39        | Üçgen            |  | 40 cm                | 4                      | 21.22 cm                        | 15 cm                                |

Şekil 4.34.'te deneyleri yapılan üçgen ve düz savaklar 3 boyutlu olarak gösterilmiştir. Üçgen savaklarda farklı sayıda döngü içeren 3 farklı kesit için deneyler yapılmış ve bu kesitler düz konfigürasyonda yerleştirilmişlerdir. Düz konfigürasyonlar için deneyi yapılan kesitler 2 düz üçgen, 3 düz üçgen ve 4 düz üçgen labirent savaktır. Her bir kesit için 3 farklı P=20 cm, P=30 cm ve P=40 cm savak yüksekliği kullanılarak deneyler yapılmıştır.



Şekil 4.34. Deneyleri yapılan üçgen ve düz savaklar

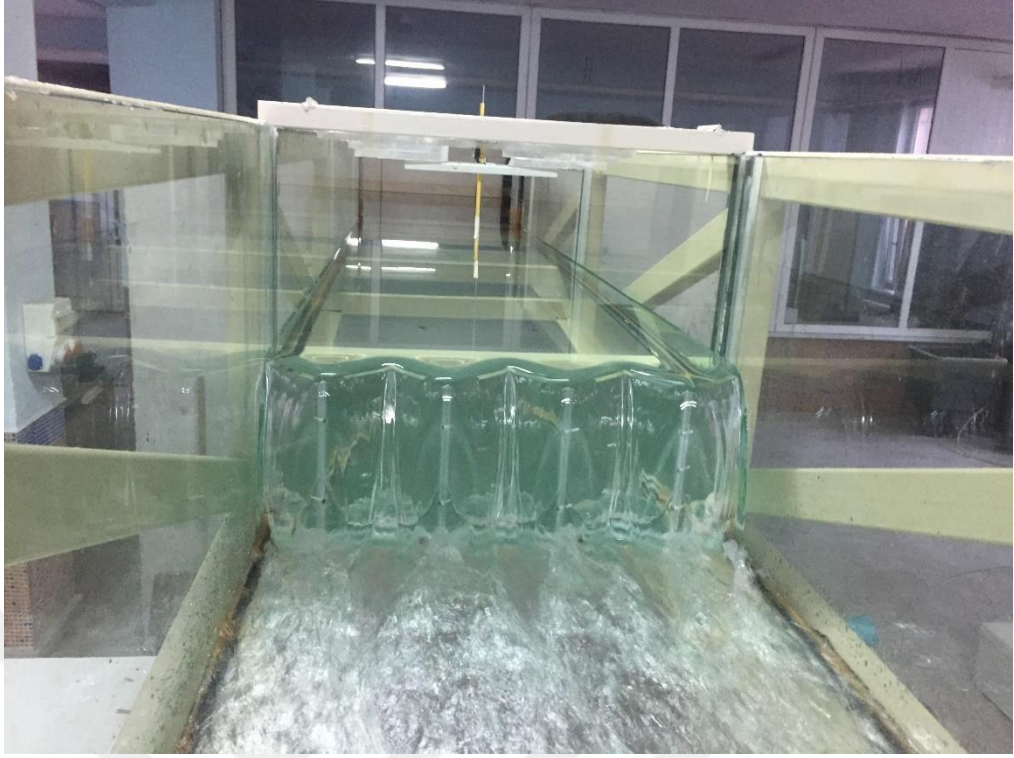
Üçgen savaklar ile yapılan Deney No:31 - Deney No:39 aralığındaki deneylere ait bazı fotoğraflar Şekil 4.35 - Şekil 4.43 arasında gösterilmiştir. Deneylerden elde edilen görüntüler incelediğinde, bütün savaklarda kendinden havalanmış nap akımının olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca üçgen savaklar ile yapılan deneylerden, iki bitişik duvar üzerinden gelen nap akımlarının oluşturdukları girişimler görülmektedir.



Şekil 4.35.  $P=20$  cm için 2 düz üçgen labirent savak (Deney No: 31)



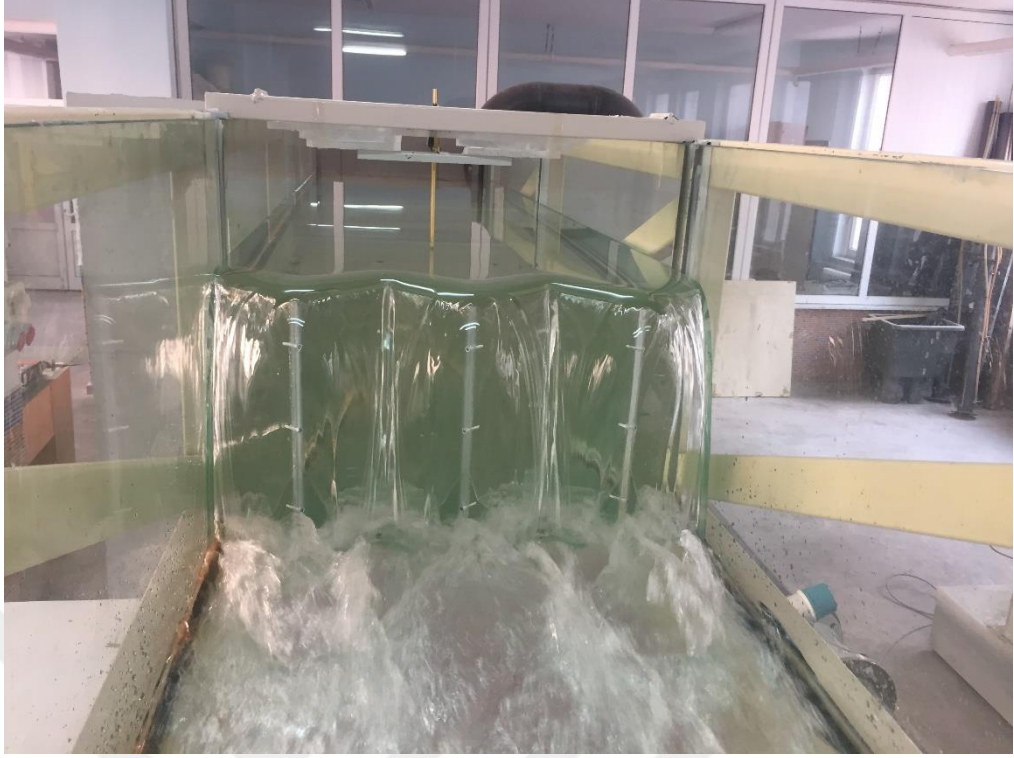
Şekil 4.36.  $P=20$  cm için 3 düz üçgen labirent savak (Deney No: 32)



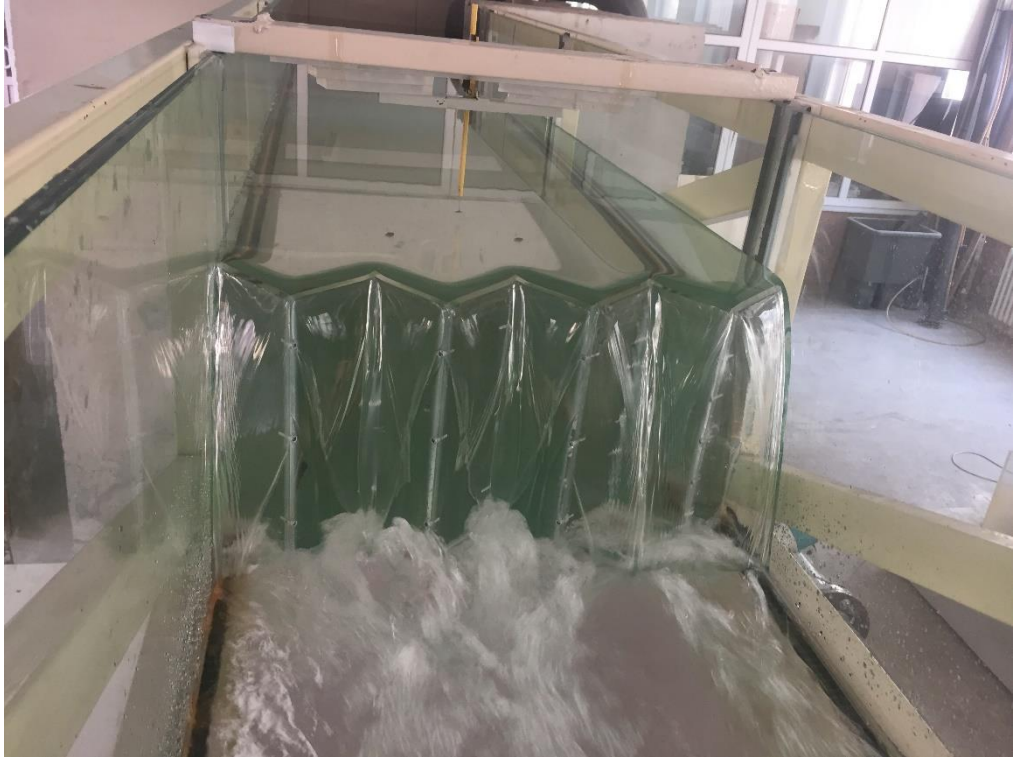
Şekil 4.37.  $P=20$  cm için 4 düz üçgen labirent savak (Deney No: 33)



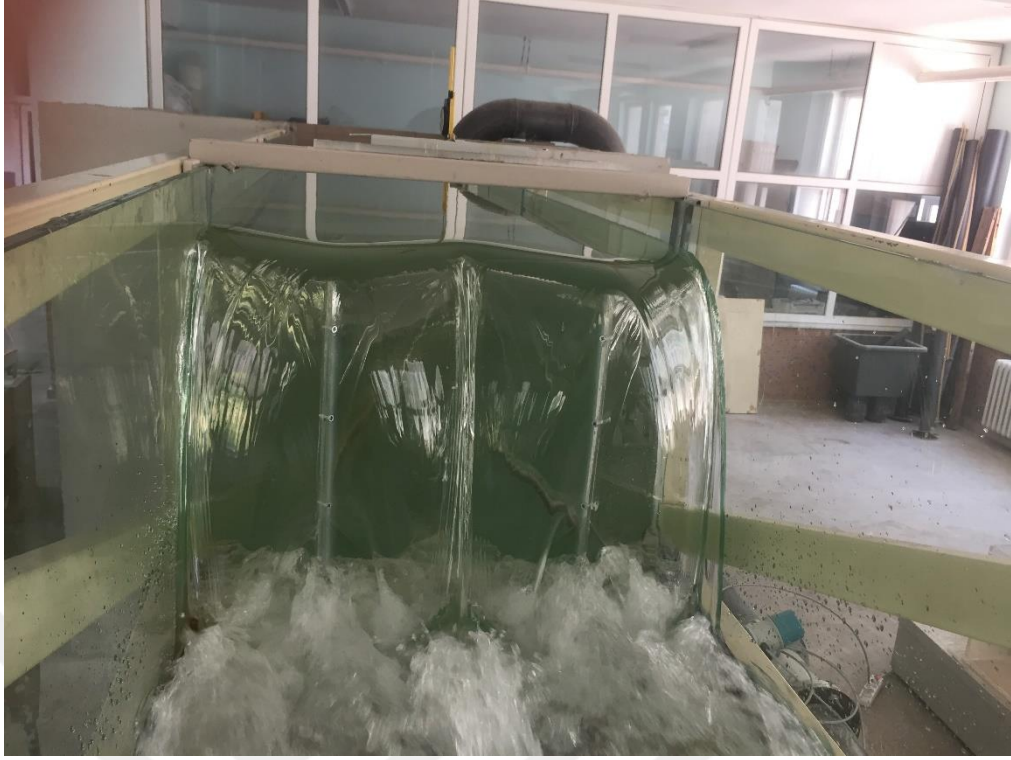
Şekil 4.38.  $P=30$  cm için 2 düz üçgen labirent savak (Deney No: 34)



Şekil 4.39.  $P=30$  cm için 3 düz üçgen labirent savak (Deney No: 35)



Şekil 4.40.  $P=30$  cm için 4 düz üçgen labirent savak (Deney No: 36)



Şekil 4.41.  $P=40$  cm için 2 düz üçgen labirent savak (Deney No: 37)



Şekil 4.42.  $P=40$  cm için 3 düz üçgen labirent savak (Deney No: 38)

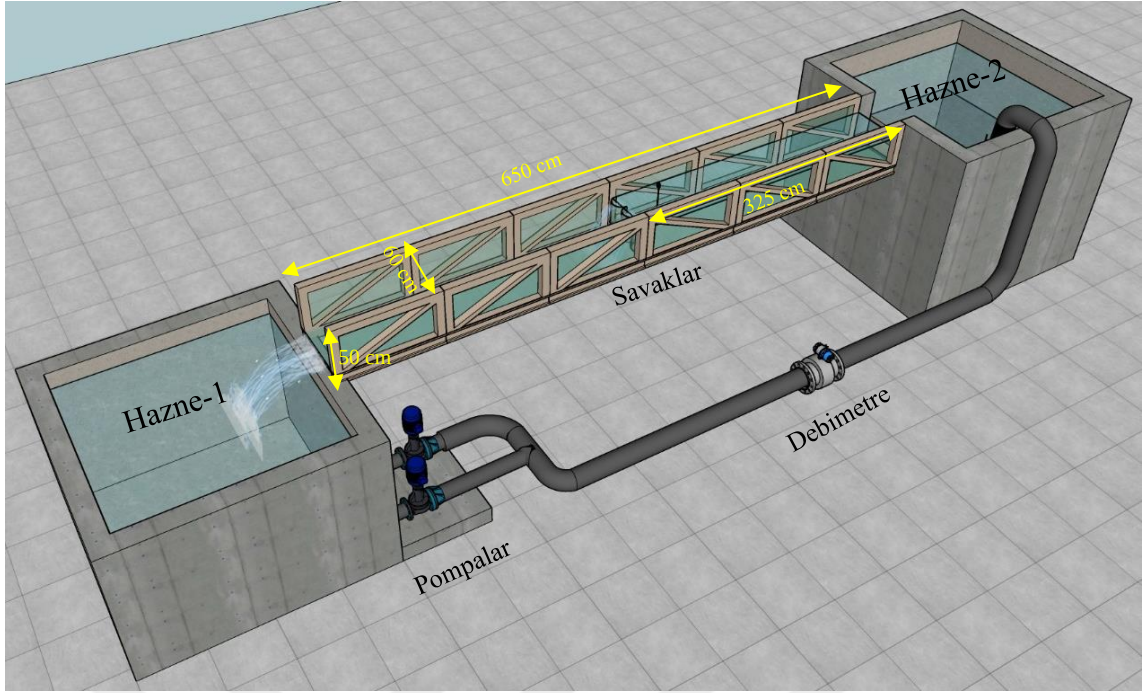


Şekil 4.43.  $P=40$  cm için 4 düz üçgen labirent savak (Deney No: 39)

#### 4.2. Fiziksel Deney Düzeneği

Bu çalışmada rastlantısal ve sistematik hataları minimize etmek için deneyler öncesinde çok detaylı hesaplamalar yapılmıştır. Önceden karşılaşılabilecek hataları ve zorlukları tespit etmek için detaylı literatür araştırması ile birlikte asıl çalışmaya geçmeden önce daha küçük ölçekli çalışmalar yapılmıştır. Bu küçük ölçekli çalışmalarda savakların dayanımı, ölçümlerin alınacağı noktalar, imalat hataları tespit edilmiş, bu yapılan öncü deneylerde nap akımlarının durumu gözlenmiştir. Akımların hangi şartlar altında yapışık ve havalanmış durumda olduklarına bakılmış, bahsedilen durumlar göz önüne alındıktan sonra deney programı oluşturulmuş ve deney setleri bu doğrultuda hazırlanmıştır.

Labirent savakların fiziksel olarak modellenmesi amacıyla deneysel çalışmalar Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Dairesel ve üçgen savakların hidrolik modellenmesinde kullanılan deney düzeneği, 650 cm uzunluğunda, 60 cm genişliğinde ve 50 cm derinliğinde açık kanal sistemidir. Labirent savaklar kanalın başlangıçtan itibaren 325 cm'lik kısmına yani orta kısma yerleştirilmiştir. (Şekil 4.44).



**Şekil 4.44.** Açık kanal sisteminin genel şeması ve sistemi oluşturan elemanlar

Bu konumun seçilmesindeki amaç hazne-2 den gelecek suda oluşan dalgalanmaları en aza indirmektedir. Kullanılan açık kanal sistemi dikdörtgen kesitlidir. Labirent savakların yerleştirildiği açık kanal sistemi 1.2 cm kalınlığında temperli-lamine camdan yapılmıştır (Şekil 4.45).



**Şekil 4.45.** Fiziksel deney düzeneği

Bu yüzden su açık kanal sisteminde akarken cam yüzeylerden geçmektedir. Cam yüzeyler pürüzsüz olduğu için akım herhangi bir yük kaybına maruz kalmamaktadır. Açık kanal sistemindeki camlar çelik bir kafes üzerine yerleştirilmiştir. Açık kanalın taban eğimi yüzde 0'dır. Fakat savakların üzerinden akım geçerken su yüzeyi kendi eğimini akım şartlarına bağlı olarak oluşturmaktadır.

Açık kanal sistemindeki akım, her biri 7.5 kW güce sahip ve sisteme paralel olarak bağlanmış iki adet pompa ile sağlanmaktadır (Şekil 4.46). Her bir pompa sisteme 0.5 ile 22.5 lt/sn arasında debi verebilmektedir. Dolayısıyla, kanaldaki toplam debi her iki pompadan gelen debinin toplamına eşit olmaktadır ve kanala 1 lt/sn ile 45 lt/sn arasında debi verilebilmektedir.



**Şekil 4.46.** Açık kanal sistemine su sağlamak için kullanılan pompalar

Pompalardan elde edilen debi miktarı, pompaların bağlı olduğu panodaki frekans değiştiricileri vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Her bir pompaya 1 adet konvertör bağlanmıştır ve ortak panodan kontrol edilmektedirler (Şekil 4.47). Frekans konvertörü elektriğin frekans (Hz) değerini 1 ile 50 arasında değiştirerek pompalara giden akımı değiştirmektedir. Bu sayede pompalara fazla veya eksik akım girmesine bağlı olarak pompaların basacağı debi miktarı da değişmektedir.



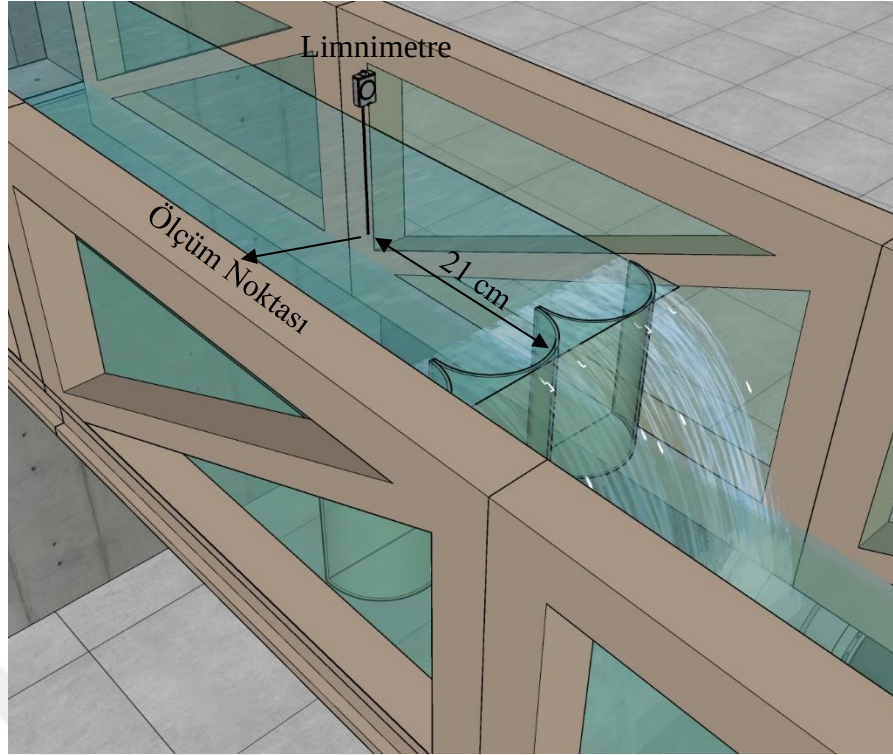
Şekil 4.47. Pompaların debisini ayarlamak için kullanılan frekans konvertörü

Sistemden geçen debi, pompalardan sonra boruların arasına yerleştirilen bir ultrasonik debimetre vasıtasıyla ölçülmektedir (Şekil 4.48). Debimetrenin ölçüm hassasiyeti 0.01 lt/sn'dir. Açık kanal sisteminde akan suyu iki hazneden sağlanmaktadır. Pompalar suyu Hazne-1'in tabanından almaktadır. Bu pompalar dikey salyangoz tipi pompalardır. Pompaların su giriş ve çıkış çapları 100 mm'dir. Hazne-1 tabanından 100 mm çapında borular vasıtasıyla alınan su, pompalara gitmektedir. Her iki pompadan gelen 100 mm çapındaki borular birleşerek 200 mm çapındaki bir ana boruya bağlanmaktadır. Bu ana boru üzerine yerleştirilen ultrasonik debimetre vasıtasıyla bu 200 mm çapındaki ana borudaki debi belirlenmektedir. Debi metreden geçen akım daha sonra Hazne-2'ye gelmekte, buradan açık kanal sistemine geçmekte ve savaklara ulaşmaktadır (Şekil 4.45).



**Şekil 4.48.** Debi ölçümünde kullanılan ultrasonik debimetre

Kanala yerleştirilen savaklar üzerinden geçen debi ( $Q$ ) ve savak yükleri ( $H_T$ ) ölçülmüştür. Savak yüklerinin ( $H_T$ ) ölçümü limnimetre ile yapılmıştır. Savak yükü, su yüksekliğinin sabit kaldığı ve su yüzeyinin düz bir eğime sahip olduğu noktada ölçüm yapılmıştır. Bütün deney setlerinde savak yükü ölçümleri yapılırken önce, limnimetre savağın tepesinde sıfırlanarak referans noktası oluşturulmakta, daha sonra limnimetre savak tepesinden 21 cm geriye çekilerek savak yükü ( $H_T$ ) ölçümü yapılmaktadır. Savaklar üzerindeki savak yükü ölçümü Şekil 4.49’de görülmektedir.



Şekil 4.49. Savakların üzerindeki savak yükü ölçümü için kullanılan limnimetre ve konumu

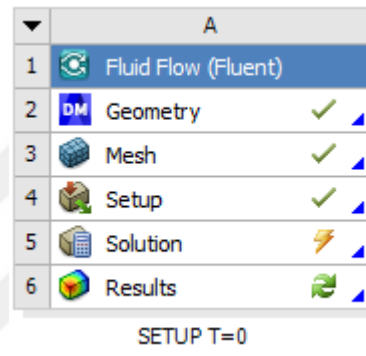
#### 4.3. Nümerik Modelleme - Computational Fluid Dynamics (CFD)

Doktora tezi kapsamında deneysel çalışmanın yanında, fiziksel modelin de birebir boyutta nümerik modeli oluşturulmuştur. Nümerik modelleme teknikleri son zamanlarda hidrolik yapıların tasarımında sıkça kullanılmaktadırlar. Aynı model üzerinde birden fazla deneyin yapılabilmesi, verilerin daha rahat toplanması ve paylaşılması ve en önemlisi de fiziksel modellere göre daha ekonomik olmasından dolayı tercih edilmektedirler.

Akış hareketi Navier-Stokes denklemleri ile temsil edilir. Momentum, enerji ve kütle korunumu yasalarından türetilmiş bir takım bağlaşıklık kısmi diferansiyel denklemlerdir. Bu denklemlerde bilinmeyenler; akış hızı, basınç, yoğunluk ve sıcaklıktır. Bu denklemlerin analitik olarak çözülmesi mümkün değildir. Bu yüzden bilim adamları laboratuvar deneylerine başvururlar. “Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (CFD)”, bu ve buna benzer problemlerin çözülmesi için oldukça verimli bir araçtır. CFD sürecinin temel işlemi, ayrıklaştırma işlemidir. Bu işlemde, sonsuz sayıda noktada tüm anlarda çözümü gerçekleştirmek yerine, sayılı noktada ve belli zaman dilimlerinde akış özellikleri hesaplanır. Böylece kısmi diferansiyel denklemler, bilgisayar yardımı ile çözülebilen cebirsel denklemler setine dönüşmüş olur. CFD, akışkan akımlarını cisimlerin ısı

transferlerinin matematiksel hesaplarını kullanarak çözümleyen bir bilim dalıdır. Akışkanlar biliminde çalışmalar deneysel ve sayısal modelleme yapılarak yürütülmektedir.

Fiziksel deneylerin nümerik modelleri, ANSYS'in Fluent modülü ile yapılmıştır. Nümerik modelde, deneylere en yakın sonuçları elde etmek için fiziksel modelin bulunduğu ortam şartlarının programa doğru bir şekilde girilmesi gerekmektedir. ANSYS programının Fluent modülünde analizler dört aşamadan oluşmaktadır (Şekil 4.50.). Bu aşamalar; geometrinin oluşturulduğu “Geometry” kısmı, geometriye hücrelerin tanımlandığı “Mesh” bölümü, nümerik modelin ortam şartlarının girildiği “Setup” kısmı ve sonuçların alındığı “Solution” kısmı.



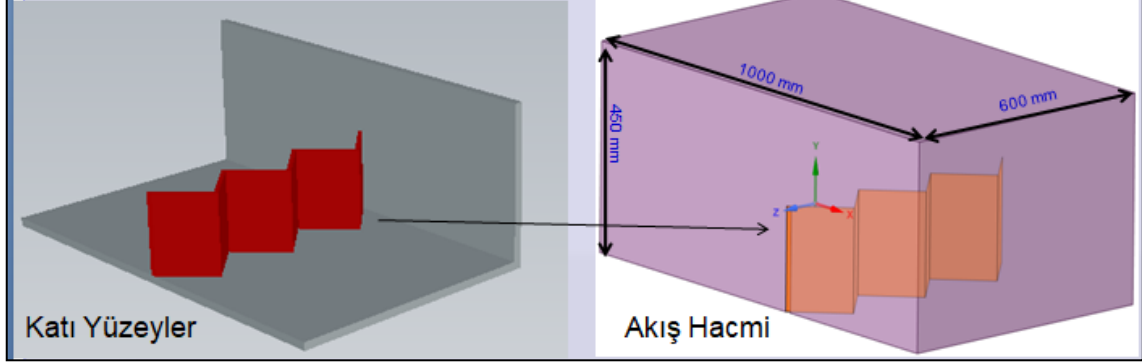
Şekil 4.50. Fluent modülündeki aşamalar

Labirent savaklar üzerine yapılan deneylerin nümerik modelleri oluşturulurken her bir aşamada yapılanlar aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.3.1. Geometri (Geometry)

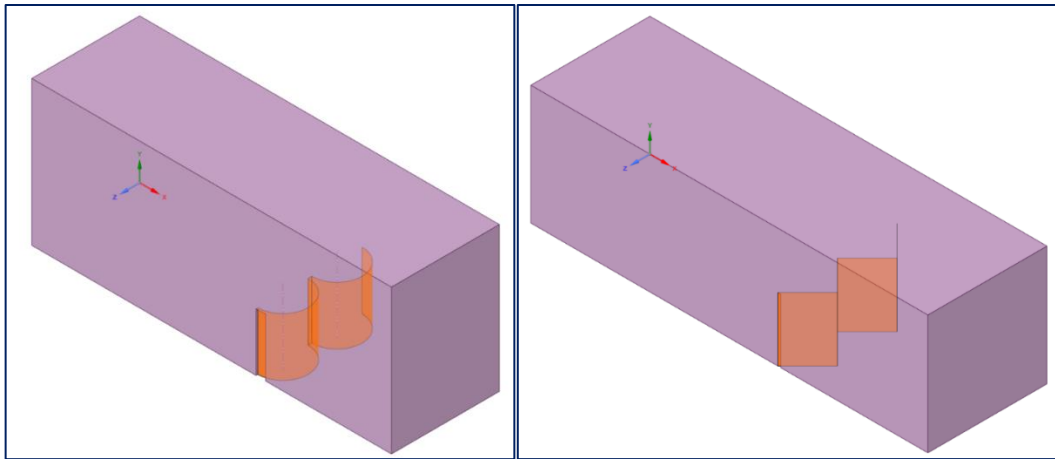
Geometri bölümünde analizi yapılacak modelin geometrisi oluşturulmaktadır. Oluşturulan geometri 3 boyutlu ve 2 boyutlu olabilmektedir. Laboratuvar ortamında yapılan fiziksel deneyleri birebir gerçek koşullara uygun olarak modellemek için geometri 3 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Programda yürütülecek analizler 3 boyutlu olduğu için çizimler de ona uygun olarak 3 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Fluent’de analizi yapılacak geometri katı hacmin geometrisi değildir (Şekil 4.51.), analizler akış hacminin içerisinde yürütülmektedir. Akış hacminin geometrisi oluşturularak bu hacim içerisinde analizler yapılır. Akış hacmi suyun ve havanın bulunabileceği muhtemel, katı yüzeyler dışarısında kalan hacimdir. Bu yüzden, akış hacminin büyüklüğü kullanıcı öngörüsüne göre belirlenmelidir. Gereğinden fazla büyük seçilen akış hacmi, analizi

gereksiz yere uzatacaktır. Akış hacmi belirlenirken, suyun ne kadar yükseleceği, hangi noktalardan akacağı, sıçrama yapıp yapmayacağı gibi durumlar önceden öngörülerek akış hacmi bu durumlara göre oluşturulmalıdır.



Şekil 4.51. Katı model ve akış hacmi

Akış hacminin geometrisi, ANSYS'te bulunan "Design Moduler" ve "Space Claim" programları ile çizilebildiği gibi, başka bir CAD programı kullanılarak çizilip Fluent'e de aktarılabilir. Bu çalışmadaki akış hacmi, AutoCAD kullanılarak çizilip daha sonra Fluent'e aktarılmıştır. Yine aynı şekilde AutoCAD'de suyun ve havanın bulunabileceği muhtemel hacimler dikkate alınarak katı yüzeyler yerine akış hacmi modellenmiştir. AutoCAD'de oluşturulan model .sat (Standard ACIS Text) formatıyla programa aktarılmıştır (Şekil 4.52).



Şekil 4.52. Dairesel ve üçgen savakların akış hacmindeki görünüşleri

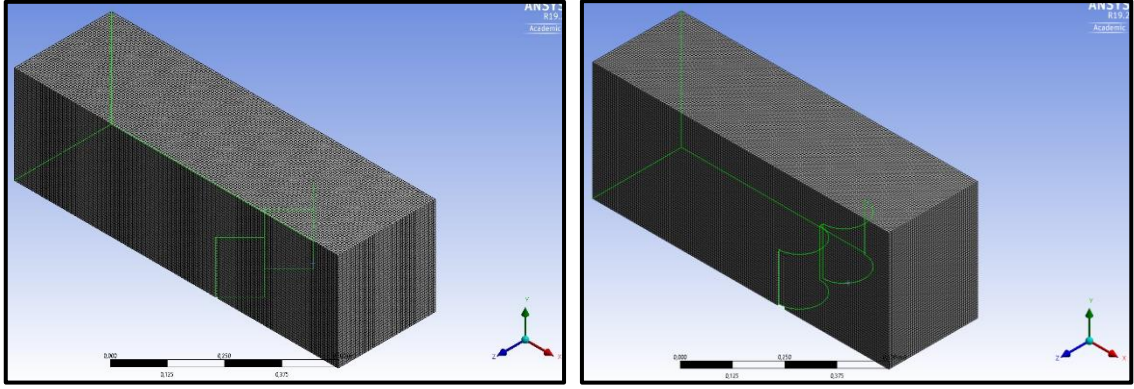
#### 4.3.2. Hücrelerin atanması (Mesh)

Bu kısımda akış hacmini oluşturan geometriye mesh hücreleri tanımlıyoruz. Fluent akış hacminde sıvının hareketini hesaplamak için, akış hacmini küçük hücrelere ayırmaktadır. Program, sonlu hacim metodu ile çalıştığı için hesaplar bu oluşturulacak hücreler içerisinde yapılmaktadır. Her bir mesh'te (hücre) süreklilik (Navier-Stokes) denkleminin çözümü yapılır. Akış hacmindeki hücre sayısı arttıkça çözümün doğruluğu da artmaktadır. Hücre boyutunu ve buna bağlı olarak oluşacak toplam hücre sayısını sınırlayan faktör, kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri ve analizlerin süresidir.

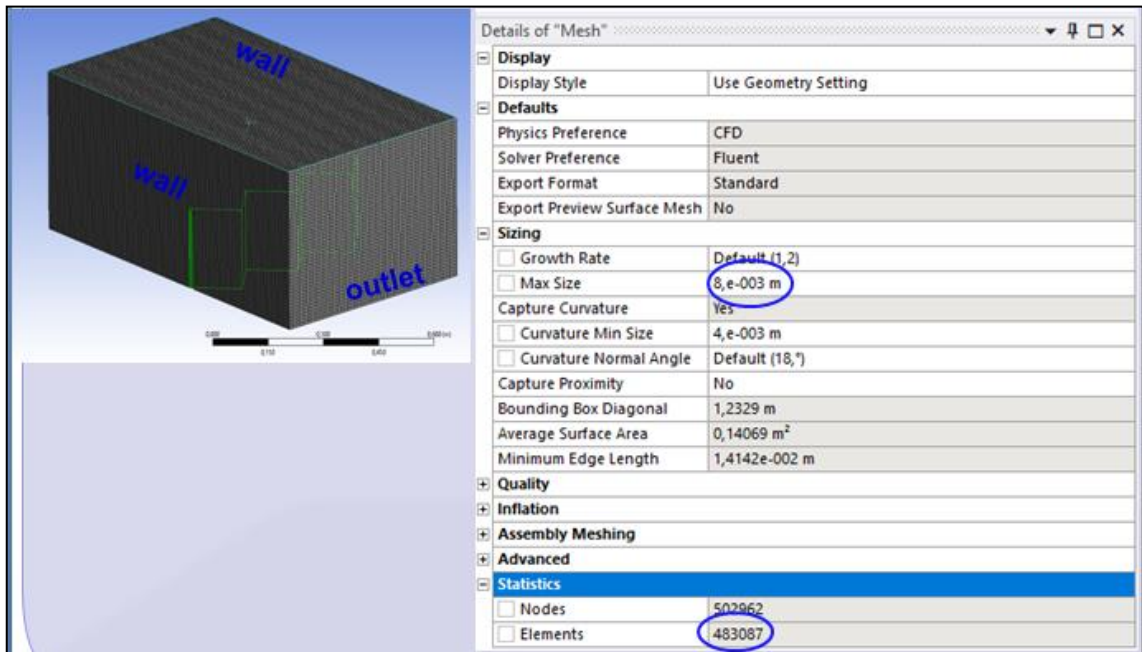
Program içerisinde çok farklı şekillerde “mesh”ler yapılabilmektedir. Dikdörtgen prizma, kare prizma, üçgen prizma ve küp gibi geometrik şekillerle mesh hücreleri tanımlanabilmektedir. Meshler genellikle akış hacminin genel geometrisine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Nümerik modelin akış hacminin geometrisi dikdörtgenler prizması olduğu için meshlerin şekli de küp olarak seçilmiştir. Bu metotta akışkan hacmi eşit büyüklükteki küp hücrelere ayrılırlar.

Kullanılan mesh'in şekli analizde çok büyük önem taşımaktadır. Kullanılan hacim şekli, analiz süresini, toplam eleman sayısını ve analizlerin doğruluğunu etkilemektedir. Sonlu hacim metodunda yapılan çözüm, akışkanın akış hacminin içerisine hangi yönden girip hangi yönden çıktığına bağlı olarak değişmektedir. Eğer mesh hücresinin içerisine akışkan birden fazla yüzeyden giriş yaparsa veya yüzeye açılı bir doğrultuda giriş yaparsa bu durum hesap sürelerini uzatacaktır. Akışkanın hacmin içine girerken yüzeye dik doğrultuda bir giriş yapması halinde hesaplar kolaylaşacak ve çözüm hassasiyetini de arttıracaktır. Bu tipte hücre kullanılmasının sebebi akış hacminde akımın, hücre yüzeylerine dik şekilde hareket edeceğinden daha doğru sonuç vermesi olacaktır.

Akış hacminin yüzeyinin özellikleri de “sınır şartları” mesh bölümünde tanımlanmaktadır. Suyun hacme gireceği kısım “inlet” (giriş), hacmi terk edeceği kısım “outlet” (çıkış) ve geri kalan kısımlar “wall” (duvar) olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.54.). Akış hacminin kendisi ise “interior” (akış hacminin içerisi) olarak tanımlanmıştır. Kullanılan küp şeklindeki meshlerin kenar boyutu  $0.008 \text{ m} = 8 \text{ mm}$ 'dir. Toplamda 483000 eleman ile analiz yapılmıştır.



Şekil 4.53. Dairesel ve üçgen savakların mesh bloklarındaki görünüşleri

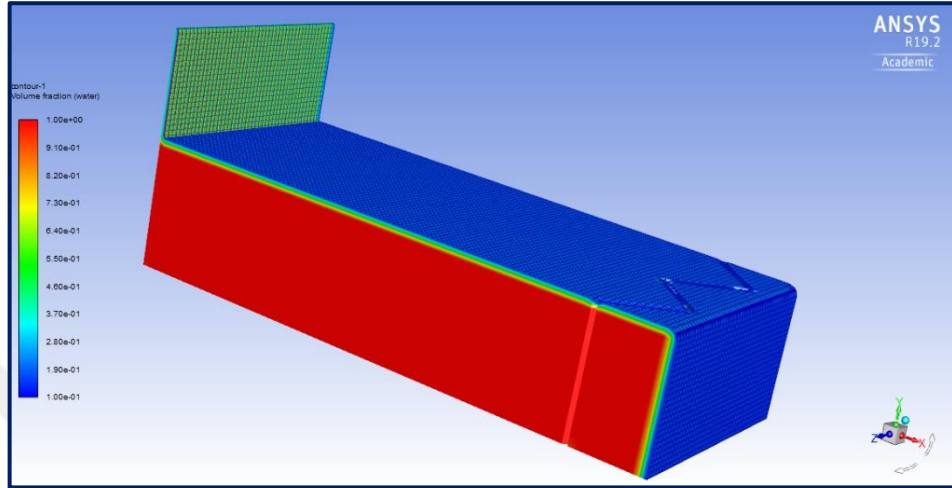


Şekil 4.54. Mesh bloğun özellikleri

#### 4.3.3. Ortam şartlarının girilmesi (Setup)

“Setup” kısmında, akış hacmi oluşturulan ve meshleri tanımlanan fiziksel model, bulunduğu ortam şartlarına uygun olarak analize hazır hale getirilir. Akış hacminin giriş kısmı “mass flow inlet” (debi girişi) olarak tanımlanmıştır. Debi girişi kg/s cinsinden yani lt/sn olarak belirlenmektedir. Suyun özgül ağırlığı  $1000 \text{ kg/m}^3$  olduğu için 1 litre hacmindeki suyun ağırlığı 1 kg’a eşit olmaktadır. Bu yüzden deneyler esnasında debimetrede okunan litre/sn değerleri programa kg/sn olarak aynen girilebilmektedir. Türbülans modeli olarak k-omega RNG kullanılmıştır. Akış hacminin içerisinde 2

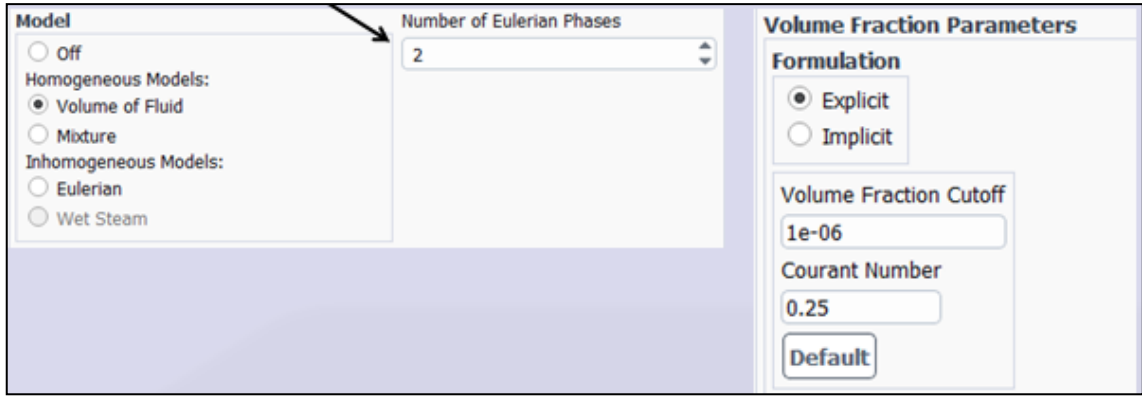
akışkan; hava ve su akışı olacak şekilde tanımlanmıştır. Analiz süresini kısaltmak için, savakların arkasında bir su hacmi tanımlanmıştır. Bu sayede savakların arka tarafının suyla dolması için harcanan analiz süresinin önüne geçilmiştir (Şekil 4.55). Analizler değişken akıma göre (Transient Flow) çözüm yapılmıştır.



Şekil 4.55. Modelin analizden önce başlangıç hali

#### Multiphase modelinin seçilmesi

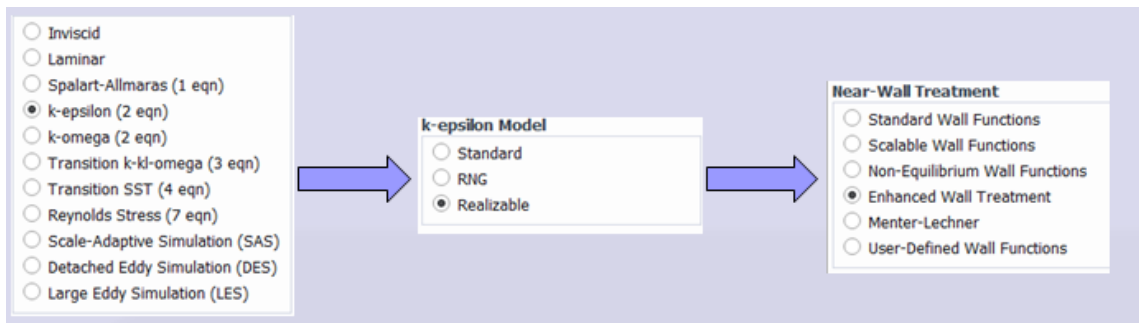
Laboratuvarlarda yürütülen deneylerde serbest yüzeyli bir su akımı ve üzerinde de hava bulunmaktadır. Bu yüzden analizlerde 2 fazlı bir analiz, hem hava hem de suyun akış hacminin içerisinde bulunacağı şekilde tasarlanmıştır. İki fazlı akımı sağlamak için “Multiphase” modeli, VOF (Volume of Fluid) metodu olarak seçilmiştir. Çözümün daha detaylı olması için “implicit” çözüm yerine “explicit” çözüm yapılmıştır. Program sadece suyun değil aynı zamanda havanın hareketini de hesaplamaktadır. Havanın suya olan etkisi (açık hava basıncı) de bu şekilde hesaba katılmış olmaktadır (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. Kullanılan Multiphase modeli

### Viskozite modelinin seçilmesi

“Viskozite” modeli suyun hareket halindeyken katı ile olan etkileşimini ve türbülans hareketlerini belirleyen modeldir. Yapılan deneylerde su ile katı yüzeyler arasında sürtünme bakımından çok fazla etkileşim bulunmamaktadır. Labirent savakların memba kısmında su, haznedeymiş gibi hareketsiz davranmakta, labirentlerin üzerinden dökülürken de katı yüzey ile sürtünme bakımından herhangi bir teması bulunmamaktadır. Bu yüzden “viscosity” modeli çok büyük önem arz etmemektedir. Fakat, literatür çalışmaları incelendiğinde en uygun model olarak k-epsilon türbülans modelinin seçilmesi uygun görülmüştür (Şekil 4.57).

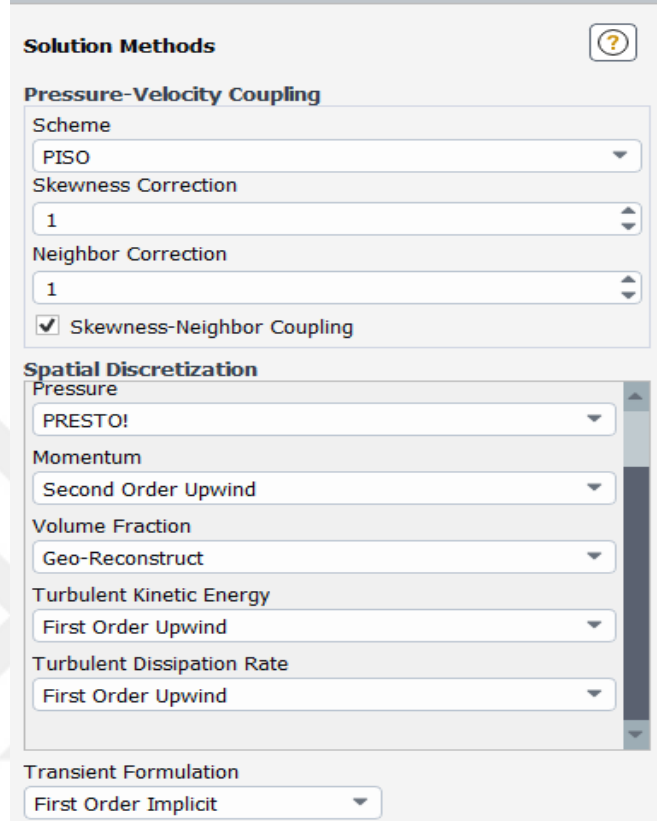


Şekil 4.57. Seçilen “viscosity” modeli ve alt seçimleri

### “Solution” metodunun seçilmesi

“Solution” metodu, analiz yapılırken momentum denklemlerinin kaçınıcı dereceden çözüleceği ile ilgilidir. Farklı denklemlerin derecelerine bağlı olarak farklı konfigürasyonlar bulunmaktadır. Analiz yapılırken, enerji ve momentum denklemlerinin yaptıkları, iterasyon sayıları ve kullandıkları parametre sayıları ile ilgilidir. Farklı konfigürasyonlar bulunmaktadır. Bunların arasından PISO metodu seçilmiştir. PISO

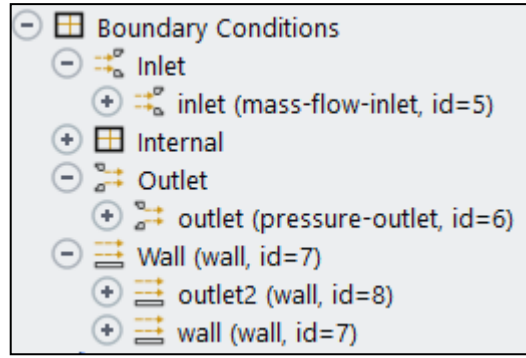
metodunda çoğu denklem 1.dereceden çözülmektedir ve bu da labirent savakların analizi için yeterli olmaktadır. Çünkü akımda çok fazla türbülans ve karmaşa bulunmamaktadır (Şekil 4.58).



Şekil 4.58. Kullanılan Çözüm Metodu

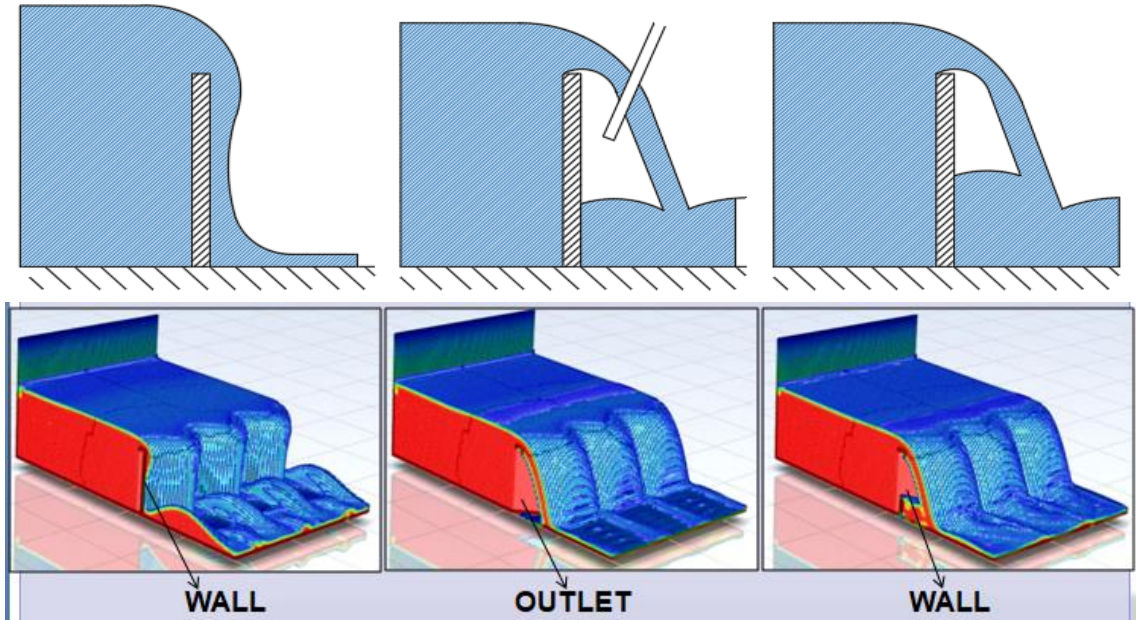
#### Sınır tabaka koşullarının tanımlanması

Bu kısımda “mesh” bölümünde yapılan sınır tabaka tanımları, deneyler ile uygun hale getirilir. Labirent savaklara gelen su, kanal vasıtasıyla belirli bir debide geldiği için “inlet” kısmı, yani akış hacminin giriş kısmı, “mass flow inlet” olarak tanımlanmıştır. Bunun anlamı, buraya belirli bir kütlede sürekli su girişinin olmasıdır. Akış hacminin çıkış kısmı “pressure outlet” olarak tanımlanmıştır. Bu tabakadan hava ve su serbest bir şekilde çıkabilmektedir (Şekil 4.59).



Şekil 4.59. “Boundary conditions”ların tanımlanması

Model, analize ilk başlatıldığında havalanma olmadığı için, su, labirent savaklarının mansap kısmına yapışık olarak akmaktadır (Şekil 4.60). Bu şekilde yapılan analiz, laboratuarda yürütülen deneylerden farklı sonuç vereceği için 3 aşamalı bir çözüm gerçekleştirilmiştir. İlk olarak labirent savaklarının mansap kısmı duvar olarak başlatılmış, su bu kısma yapışık olarak akmıştır. Daha sonra bu kısım “outlet”e çevrilmiştir ve serbest bir akış sağlanarak bu bölge havalandırılmıştır. Havalanma sağlandıktan sonra tekrar duvara çevrilerek deneylerdeki durumun aynısı elde edilmiştir (Şekil 4.60).

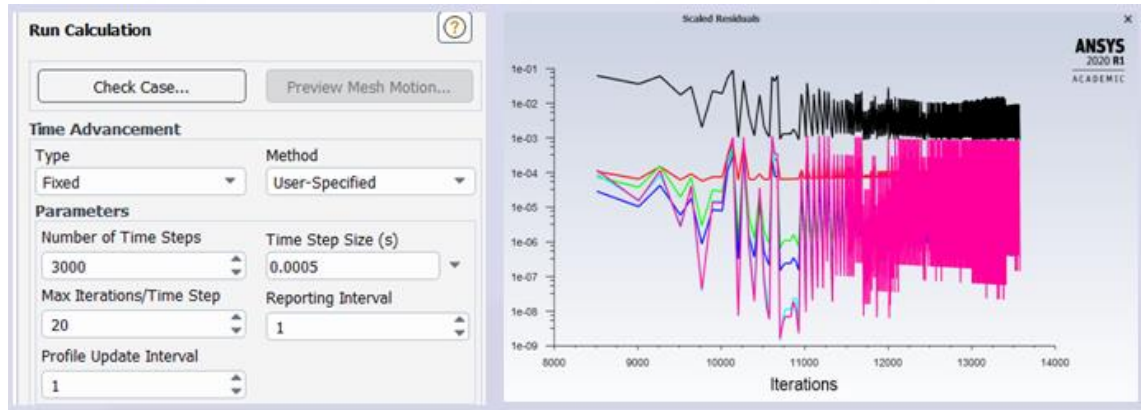


Şekil 4.60. Labirentin mansap kısmındaki sınır koşullarında havalanmayı sağlamak için kademeli olarak değiştirilmesi

### Run (Analiz Başlatma) koşullarının belirlenmesi

“Explicit” çözüm yapıldığı için çözümde “Time Step Size” belirlemek gerekmektedir. Bu süre, modelin içerisinde hareket eden akışkanın hızına bağlı olarak belirlenir. Eğer hareket yavaş ise büyük bir süre, hareket hızlı ise daha küçük bir süre belirlemek gerekmektedir. Analizlerde “time step size” savakların yüksekliğine ve debiye bağlı olarak 0.001 sn ile 0.005 sn arasında değişmektedir. Bazı durumlarda “time-step size” 0.0001 saniyeye kadar düşürülmüştür.

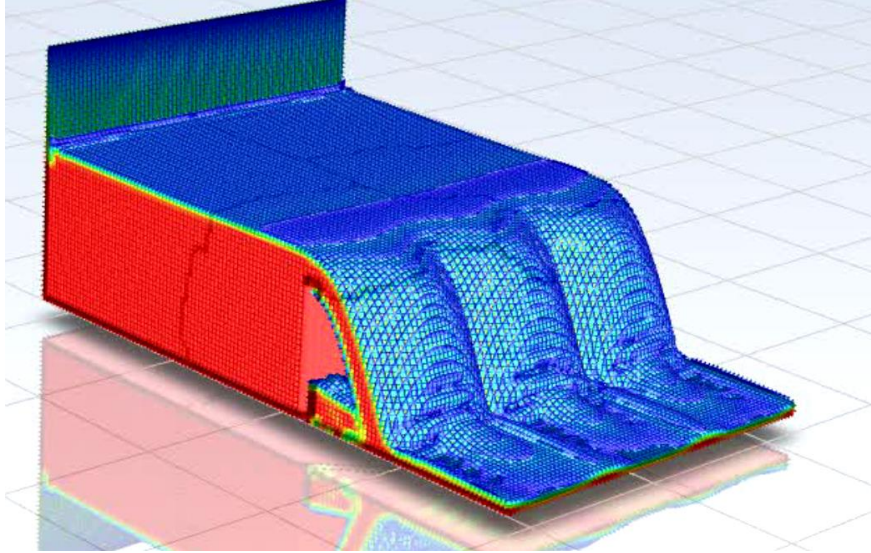
Analizlerde çözümü hızlandırmak için labirent savakların memba kısmına bir su hacmi tanımlanmıştır. Bu sayede savağın memba kısmının su ile dolması için beklemeye gerek kalmadan analiz süresi azaltılmıştır.



**Şekil 4.61.** Analiz başlatılırken kullanılan parametreleri ve iterasyonları gösteren grafik

### **4.3.4. Sonuçların alınması (Solution)**

Bir analiz yaklaşık 3 saat sürmektedir. Analizler sonunda nümerik ve fiziksel modelden elde edilen savak yüklerinin karşılaştırılmasının yanında akımların genel profilleri de karşılaştırılmıştır (Şekil 4.62). 15 kg/sn (lt/sn) için üçgen ve dairesel savaklarda yapılan nümerik analizler, fiziksel modellere son derece yakın sonuçlar vermişlerdir.



**Şekil 4.62.** 15 kg/s (lt/s) için program tarafından verilen simülasyon sonucu

Deneylerde savak yükü limnimetre ile net bir şekilde okunabilirken, nümerik modelde bu durum biraz farklılık göstermektedir. Nümerik modelde savak yükleri suyun ve havanın doluluk oranına bağlı olarak okunmaktadır. Bunun için doğrusal bir grafik çizilerek ve bu grafikte suyun başlangıç koordinatına ve bitiş koordinatına bakarak savak yükü hesaplanır. Program, sonlu hacim metoduna göre çalıştığından, suyun bitişi de net olmamaktadır. Çünkü, hücrelerin dolulukları 0 ile 1 arasında değerler almaktadır.

Su yükseklikleri, programdan suyun doluluk oranına bakılarak belirlenmektedir. Bir başka deyişle suyun tam dolu olduğu yerlerde, 1 değerini alırken, sadece havanın olduğu yerlerde, 0 değerini alır. Nümerik modelde, fiziksel modelden ölçüm aldığımız aynı noktada bir doğru boyunca suyun doluluk oranına bakılmıştır. Bu değerler 0.0 kotundan başlayarak su yüzeyine kadar hücrelerin tam dolu olduğu yerlerde 1'e sabit gitmekte, su yüzeyine yani havaya gelince bir anda 0'a düşmektedir. Bu şekilde su yükseklikleri belirlenmektedir (Şekil 4.63).

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| (title "Volume fraction (water) ")             |           |
| (labels "Position" "Volume fraction (water) ") |           |
| ((xy/key/label "savak-yuku")                   |           |
| 5.55112e-17                                    | 1         |
| 0.00821538                                     | 1         |
| 0.0165538                                      | 1         |
| 0.0248923                                      | 1         |
| 0.0332308                                      | 1         |
| 0.0415692                                      | 1         |
| 0.0499077                                      | 1         |
| 0.0582462                                      | 1         |
| 0.0665846                                      | 1         |
| 0.0749231                                      | 1         |
| 0.0832615                                      | 1         |
| 0.0916                                         | 1         |
| 0.0999385                                      | 1         |
| 0.108277                                       | 1         |
| 0.116615                                       | 1         |
| 0.124954                                       | 1         |
| 0.133292                                       | 1         |
| 0.141631                                       | 1         |
| 0.149969                                       | 1         |
| 0.158308                                       | 1         |
| 0.166646                                       | 1         |
| 0.174985                                       | 1         |
| 0.183323                                       | 1         |
| 0.191662                                       | 1         |
| 0.200000                                       | 1         |
| 0.208338                                       | 1         |
| 0.216677                                       | 1         |
| 0.225015                                       | 1         |
| 0.233354                                       | 1         |
| 0.241692                                       | 0.578068  |
| 0.250031                                       | 0.0780677 |
| 0.258369                                       | 0         |
| 0.266708                                       | 0         |
| 0.275046                                       | 0         |
| 0.283385                                       | 0         |

P=20 cm savak  
yüksekliği

H<sub>T</sub>=4,29 cm  
savak yükü

Şekil 4.63. P=20 cm ve N=2 döngü içeren, düz konfigürasyondaki dairesel labirent savak için 15 kg/sn (lt/sn) debide savak yüklerinin belirlenmesi

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Daire, üçgen ve düz savaklarda, debi ve savak yükü verileri kendinden havalanmış nap akımı için elde edilmiştir. Akımın havasız kaldığı ve duvarlara yapışarak boğulduğu durumlarda veriler alınmamıştır. Akımın boğulmuş akım duruma geçmesi genellikle yüksek debilerde olmaktadır. Bu debi miktarı savak yüksekliğine göre değişmektedir.  $P=20$  cm savak yüksekliğine sahip savaklarda 30 lt/sn debilerden sonra boğulmuş akım gözlenirken, bu debi değeri  $P=40$  cm savak yüksekliğine sahip savaklarda 40 lt/sn'ye kadar çıkabilmektedir. Bu yüzden bütün savaklarda ortak bir maksimum debi değeri elde etmek için ölçümler 30-35 lt/sn'ye kadar yapılmıştır.

### 5.1. Dairesel Savakların Deney Sonuçları

Dairesel savaklara ait deney sonuçlarını gösteren grafiksel veriler Şekil 5.1 ve Şekil 5.18 arasında gösterilmiştir. Dairesel savaklardan elde edilen sonuçlar, savak yükü ( $H_T$ ) - Debi ( $Q$ ) ve debi katsayısı ( $C_d$ ) – boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) olmak üzere iki farklı açıdan karşılaştırılmıştır. Dairesel savaklardan elde edilen deneysel veriler savak yüksekliğinin ( $P$ ) ve savak şeklinin (konfigürasyonunun) savak performansı üzerine etkisi bakımından değerlendirilmiştir. Dairesel kesitli labirent savaklarda, akımı etkileyen temel geometrik özellikler savak şekli ve yüksekliği olmaktadır. Savak şeklinin akıma olan etkisini incelemek için, aynı savak yüksekliğinde ( $P$ ) farklı konfigürasyonlara sahip savakların performansı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadaki amaç, eğer aynı savak yükünde ( $H_T$ ) bir savak diğerine göre daha fazla debi ( $Q$ ) geçiriyorsa, bu o savağın debi deşarj kapasitesinin yüksek olduğunu ve daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Savak yüksekliğinin ( $P$ ) akıma olan etkisini incelemek için ise, aynı şekle (konfigürasyona) sahip fakat farklı savak yüksekliğindeki ( $P$ ) savaklar karşılaştırılmıştır.

Dairesel savaklardan elde edilen deneysel veriler, üçgen savaklarda verilen sonuçların aksine aynı savak yüksekliğine ( $P$ ) sahip bütün savaklar için aynı grafikte gösterilmemiştir. Üçgen savaklarda aynı savak yüksekliğinde ( $P$ ) farklı konfigürasyona sahip savaklar tek bir grafikte gösterilmişti, ancak dairesel savaklarda bu durum mümkün olmamaktadır. Çünkü üçgen savaklarda tek bir savak yüksekliğinde ( $P$ ) 3 farklı konfigürasyon bulunurken, dairesel savaklarda tek bir savak yüksekliğinde ( $P$ ) 9 farklı konfigürasyon bulunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, dairesel savakların hidrolik özelliklerini belirlemek olduğu için, dairesel savaklar ile daha fazla konfigürasyon

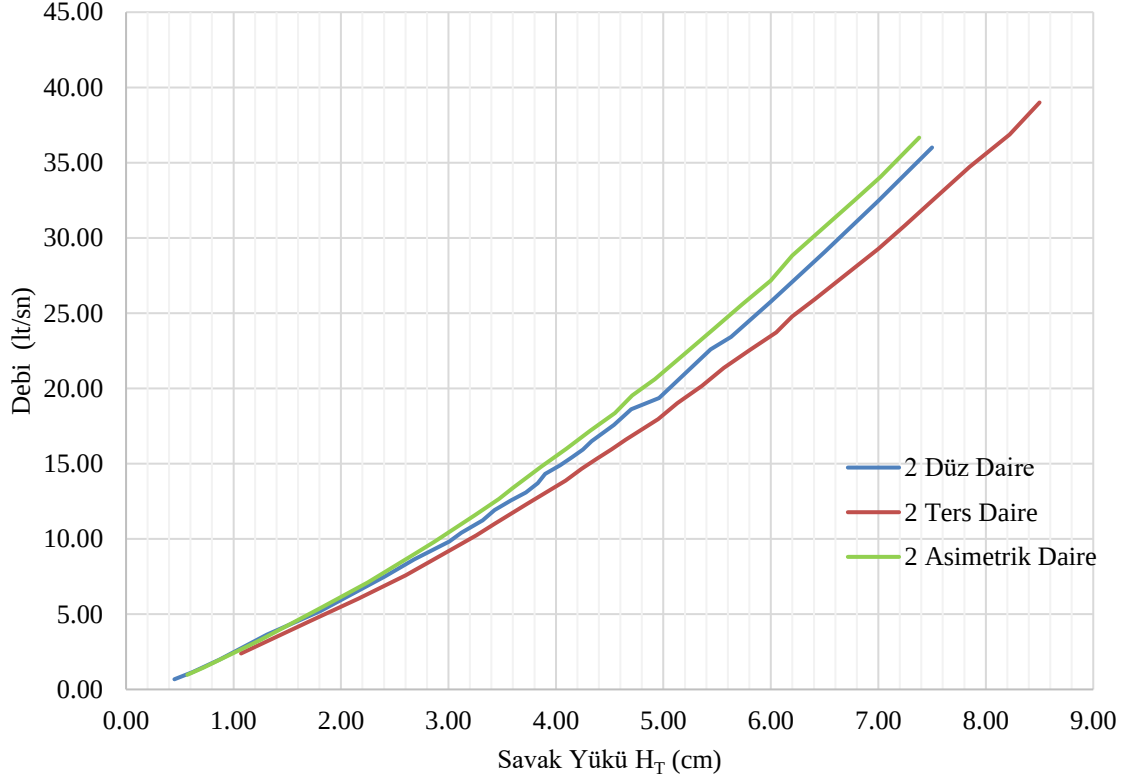
oluşturulmuştur. Üçgen savaklar ile yapılan deneylerin temel amacı, dairesel savak deneylerine referans oluşturması ve dairesel savakların hidrolik açıdan sağladığı performansları ortaya koymaktır. Üçgen ve dairesel savaklar ile yapılan deney konfigürasyonları Tablo 4.3 ve Tablo 4.1’te verilmiştir. 3 farklı savak yüksekliğinde (P) 9 farklı savak konfigürasyonundan elde edilen ( $H_T$ ) - Debi (Q) ve debi katsayısı ( $C_d$ ) – boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) verileri aynı grafik üzerinde gösterildiğinde 9 farklı savak konfigürasyonundan elde edilen sonuçlar karışacak ve verilerin görünürlüğü düşürecektir.

Dairesel savak deneylerinden elde edilen veriler, dairesel savakların içerdiği yarım daire döngülerinin (N) kanala yerleştirme konfigürasyonları temel alınarak karşılaştırılmıştır. Aynı savak yüksekliğinde aynı sayıda döngü (N) içeren farklı konfigürasyondaki savaklar aynı grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Deneylerde kullanılan dairesel savakların konfigürasyonlarından ve kullanılan döngü (N) sayısından bağımsız olarak bütün dairesel savaklar için toplam net kret uzunluğu  $L_{net}=94.24$  cm olmaktadır. Dairesel savaklardan elde edilen savak yükü ( $H_T$ ) - Debi (Q) karşılaştırması sonuçları Şekil 5.1 ve Şekil 5.9 arasında her bir savak yüksekliği (P=20 cm, P=30 cm ve P=40 cm) ve o savak yüksekliğinde aynı sayıda döngü (N) içeren savak için ayrı ayrı verilmiştir. Her bir savak yüksekliği için verilen grafiklerde farklı konfigürasyonlar farklı eğriler ile gösterilerek bu konfigürasyonlar aynı sayıda döngü içerdiği için eğriler savakların akım yönüne olan konumlarına bağlı olarak düz, ters ve asimetrik olarak adlandırılmışlardır.

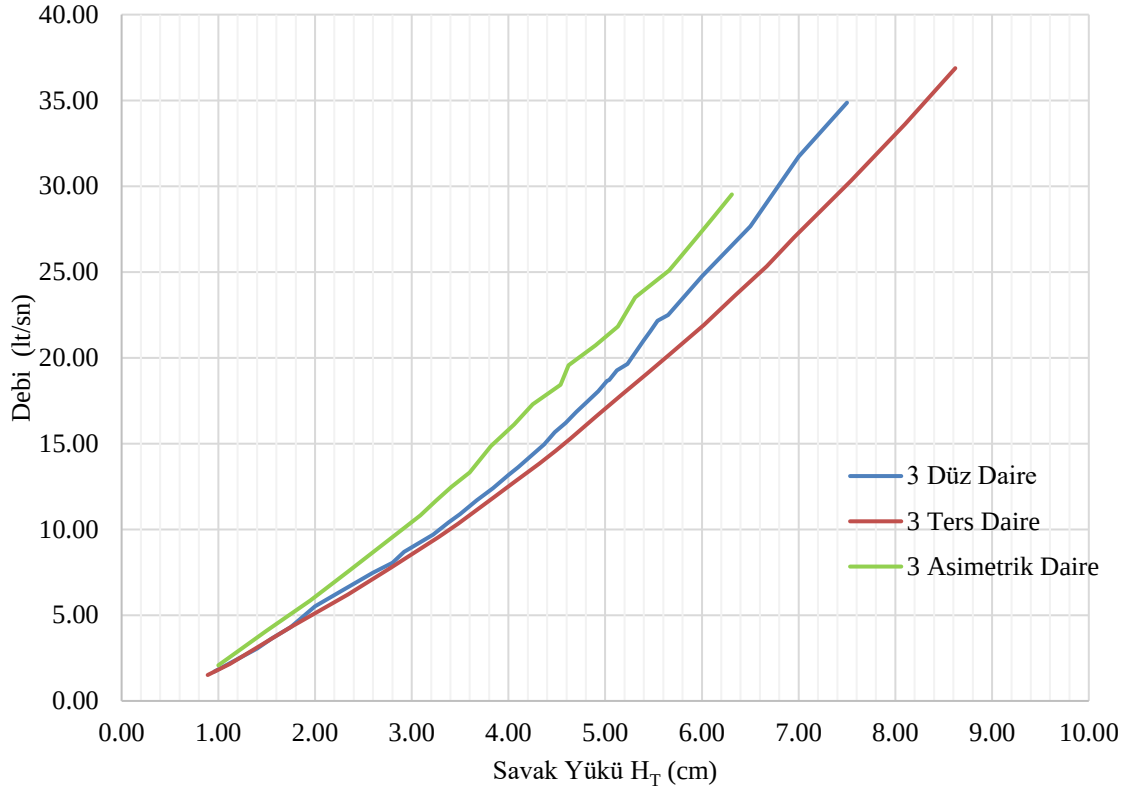
#### 5.1.1. Savak yükü ( $H_T$ ) – Debi (Q) karşılaştırması

Savak yükü ( $H_T$ ) - Debi (Q) yükü eğrileri incelendiğinde bütün savak yükseklikleri (P) ve döngü sayıları (N) için aynı savak yükünde ( $H_T$ ) en fazla debiyi (Q) asimetrik konfigürasyona sahip savaklar geçirmiştir. Debi (Q) veriminde asimetrik savaklardan sonra sırasıyla düz ve ters konfigürasyona sahip savaklar gelmektedir. Bu durum döngü sayısından bağımsız olarak bütün konfigürasyondaki savaklar için geçerli olmaktadır. Aynı savak yükünde debi verimi sıralaması  $Q_{Asimetrik} > Q_{Düz} > Q_{Ters}$  olmaktadır. Fakat savak yüksekliği arttıkça düz ve ters savakların debi verimi birbirine yaklaşmaktadır. P=40 cm savak yüksekliğine sahip savaklarda düz ve ters savaklar debi bakımından birbirine çok yakın sonuçlar vermişlerdir. Bu durum üçgen savaklarda da aynı şekilde gözlenmiştir. Bunun sebebi, savak yüksekliği (P) arttıkça savağın mansap tarafındaki havalanma etkisinin azalmasıdır. Bu sıralamadan anlaşılacağı üzere akım daha

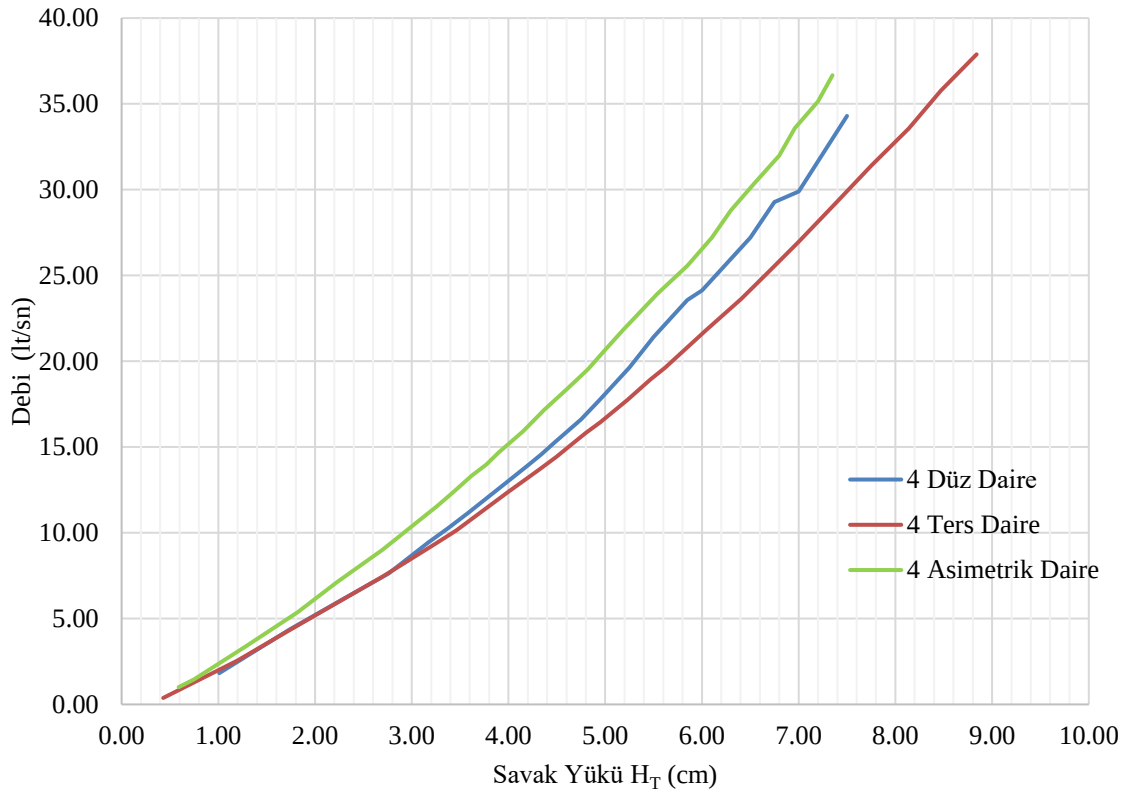
az girişim bölgesine maruz kaldıkça savak performansı da artmaktadır. Asimetrik konfigürasyondaki savaklar düz ve ters konfigürasyondaki savaklara göre girişim bölgesi içermemektedir. Asimetrik savaklarda döngülerin arasında bir süreklilik bulunmaktadır.



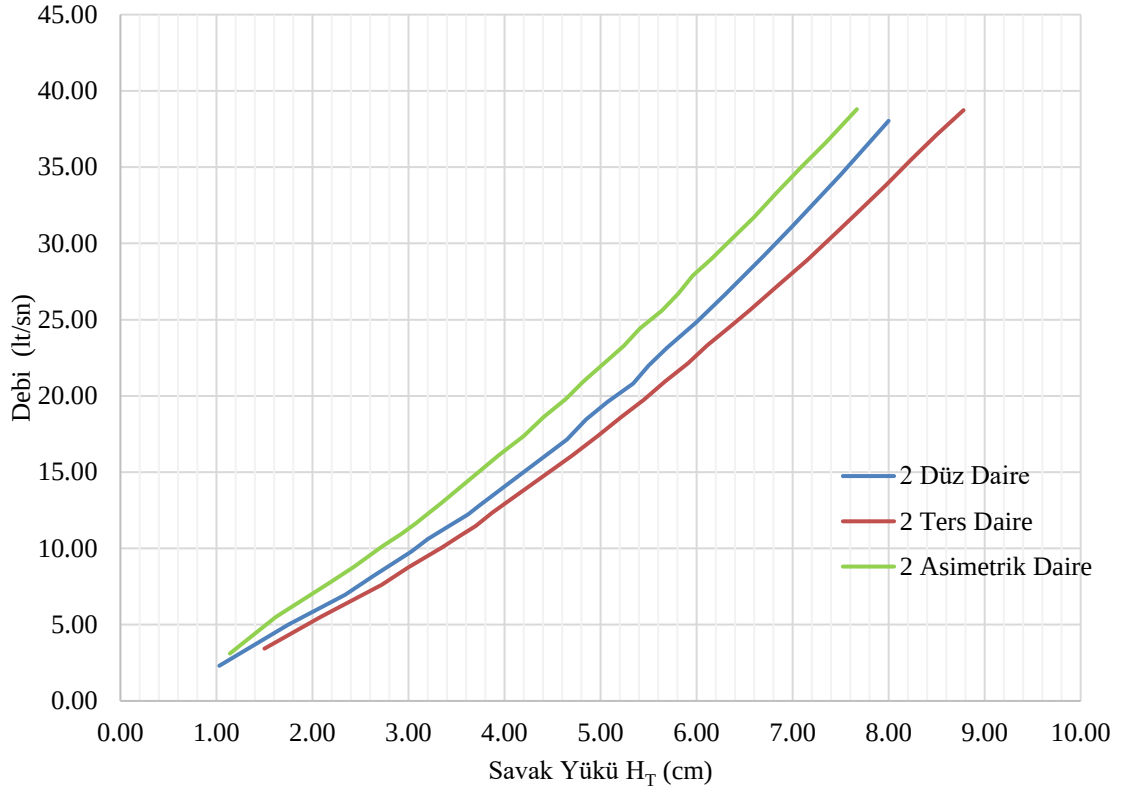
**Şekil 5.1.** P=20 cm savak yüksekliğine sahip N=2 içeren dairesel kesitli savakların Q- $H_T$  karşılaştırması



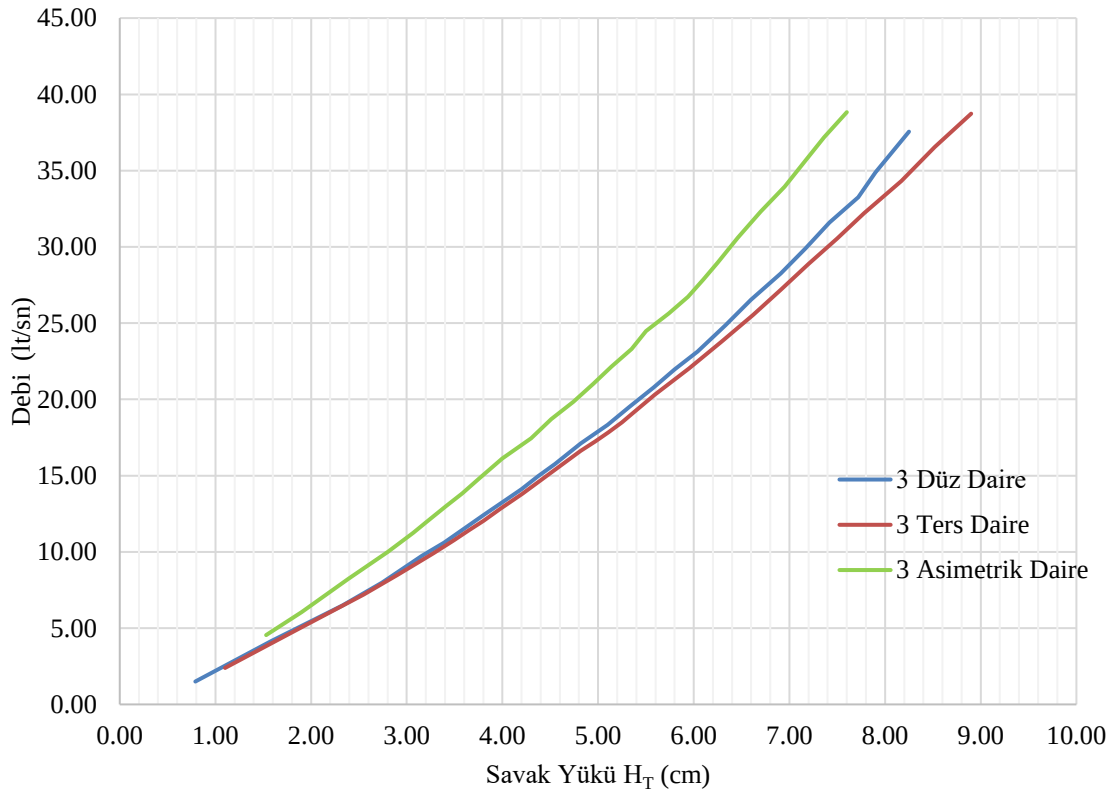
Şekil 5.2.  $P=20$  cm savak yüksekliğine sahip  $N=3$  içeren dairesel kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



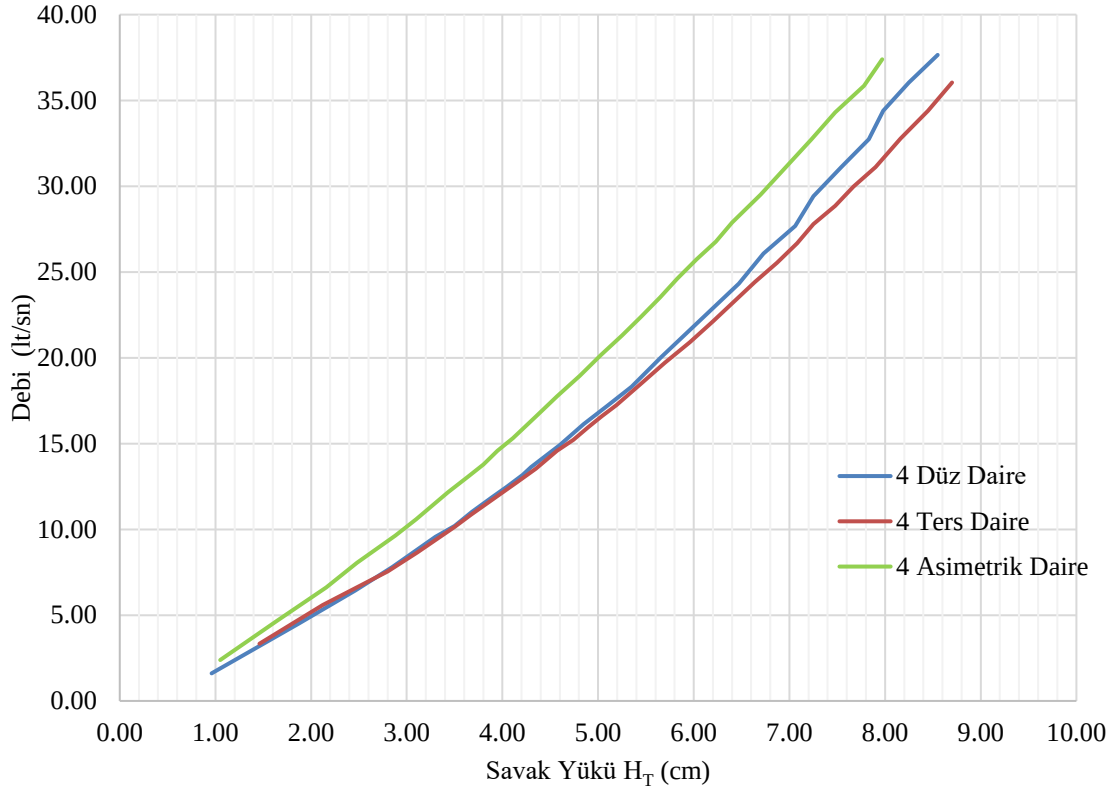
Şekil 5.3.  $P=20$  cm savak yüksekliğine sahip  $N=4$  içeren dairesel kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



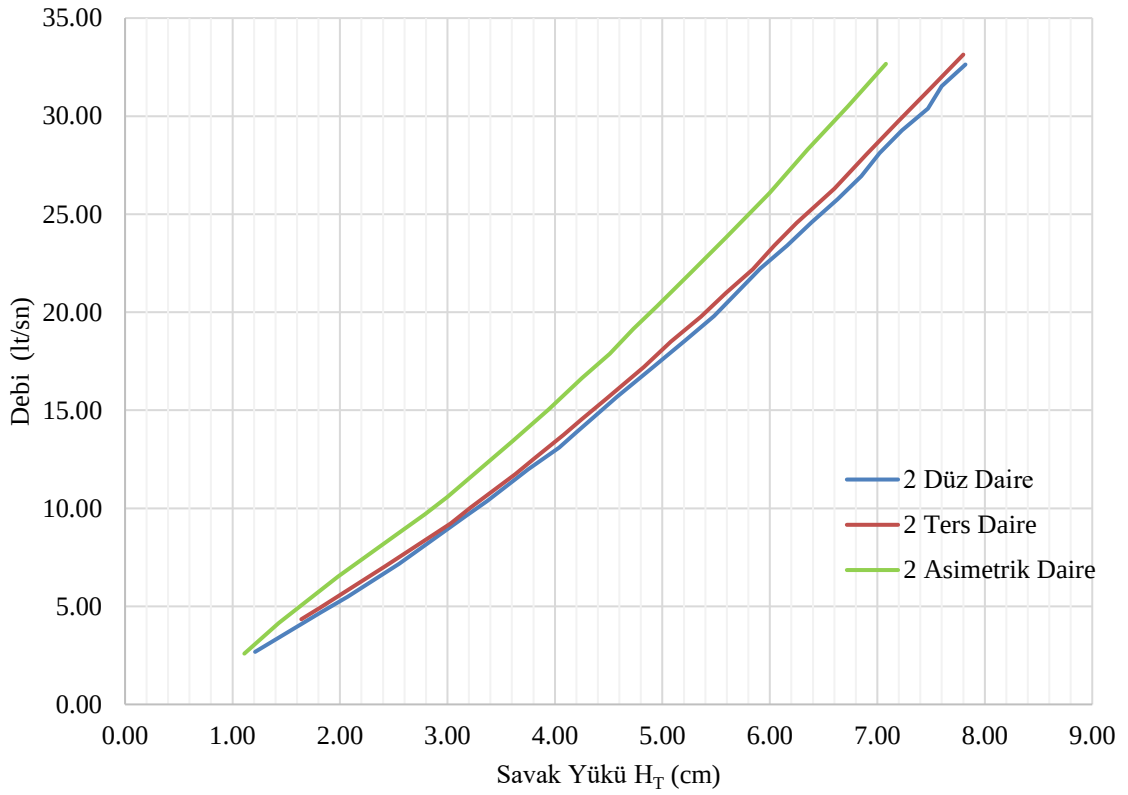
Şekil 5.4.  $P=30$  cm savak yüksekliğine sahip  $N=2$  içeren dairesel kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



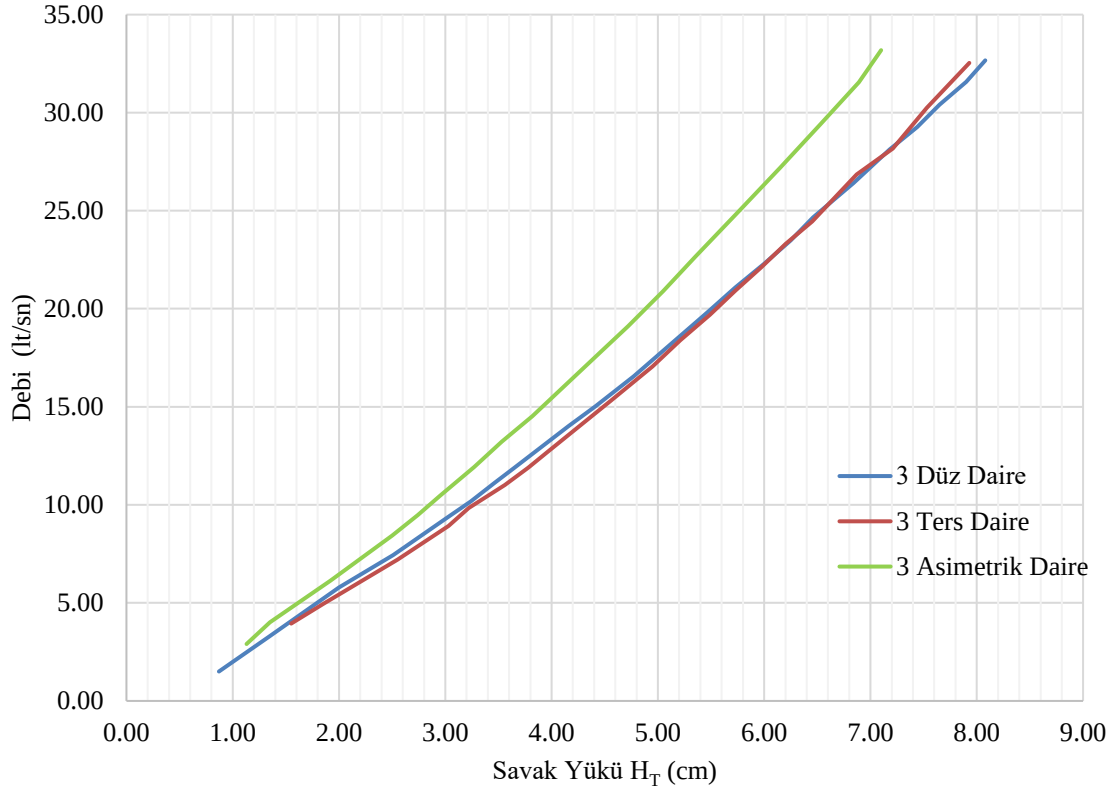
Şekil 5.5.  $P=30$  cm savak yüksekliğine sahip  $N=3$  içeren dairesel kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



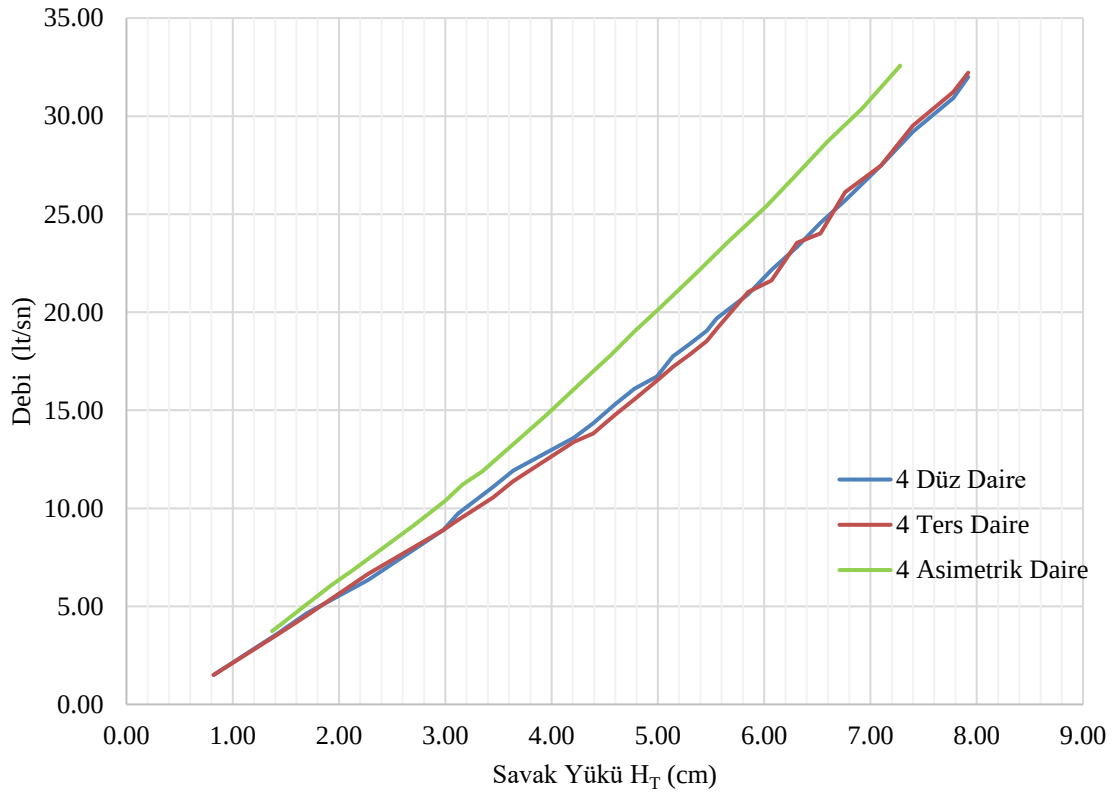
Şekil 5.6. P=30 cm savak yüksekliğine sahip N=4 içeren dairesel kesitli savakların Q- $H_T$  karşılaştırması



Şekil 5.7. P=40 cm savak yüksekliğine sahip N=2 içeren dairesel kesitli savakların Q- $H_T$  karşılaştırması



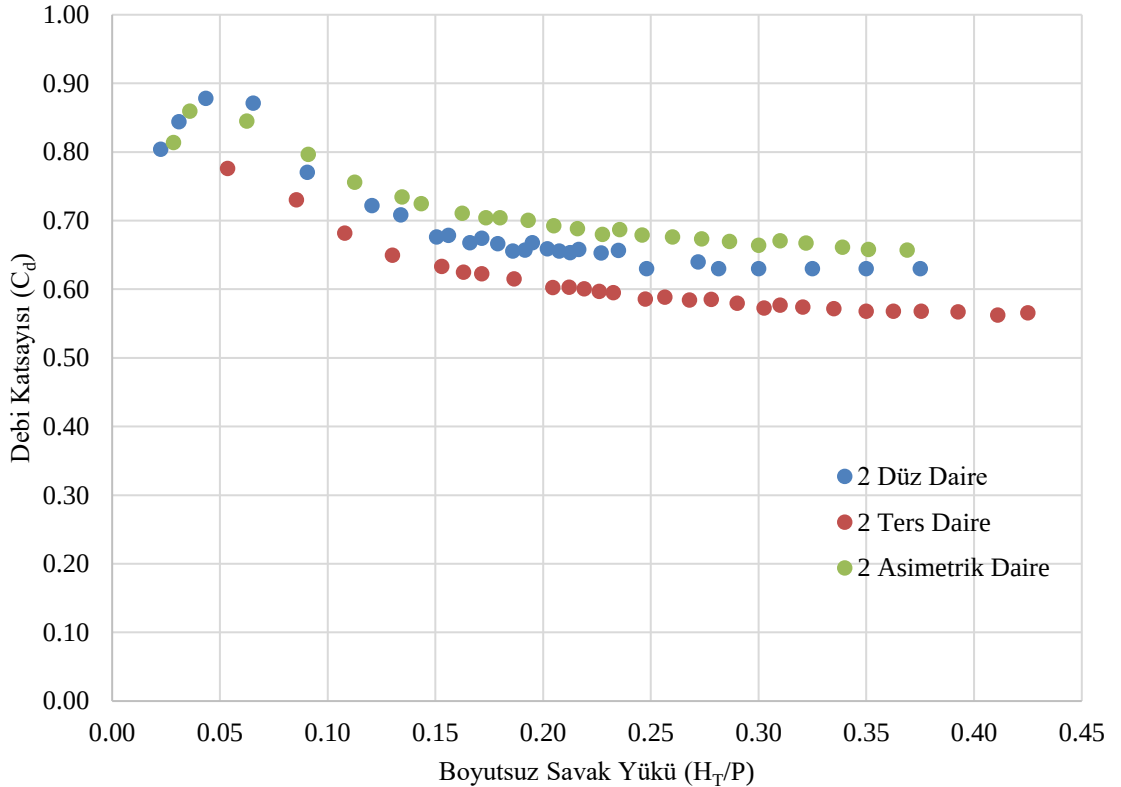
Şekil 5.8.  $P=40$  cm savak yüksekliğine sahip  $N=3$  içeren dairesel kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



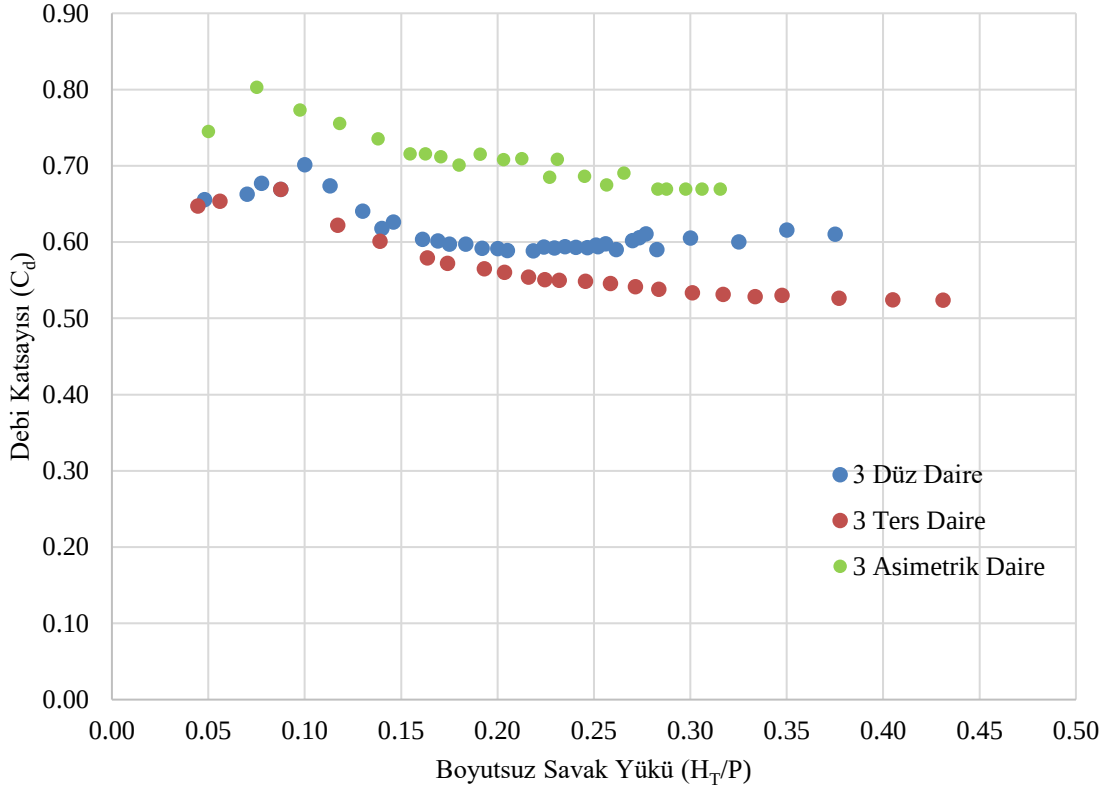
Şekil 5.9.  $P=40$  cm savak yüksekliğine sahip  $N=4$  içeren dairesel kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması

### 5.1.2. Debi katsayısı ( $C_d$ ) – Boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) karşılaştırması

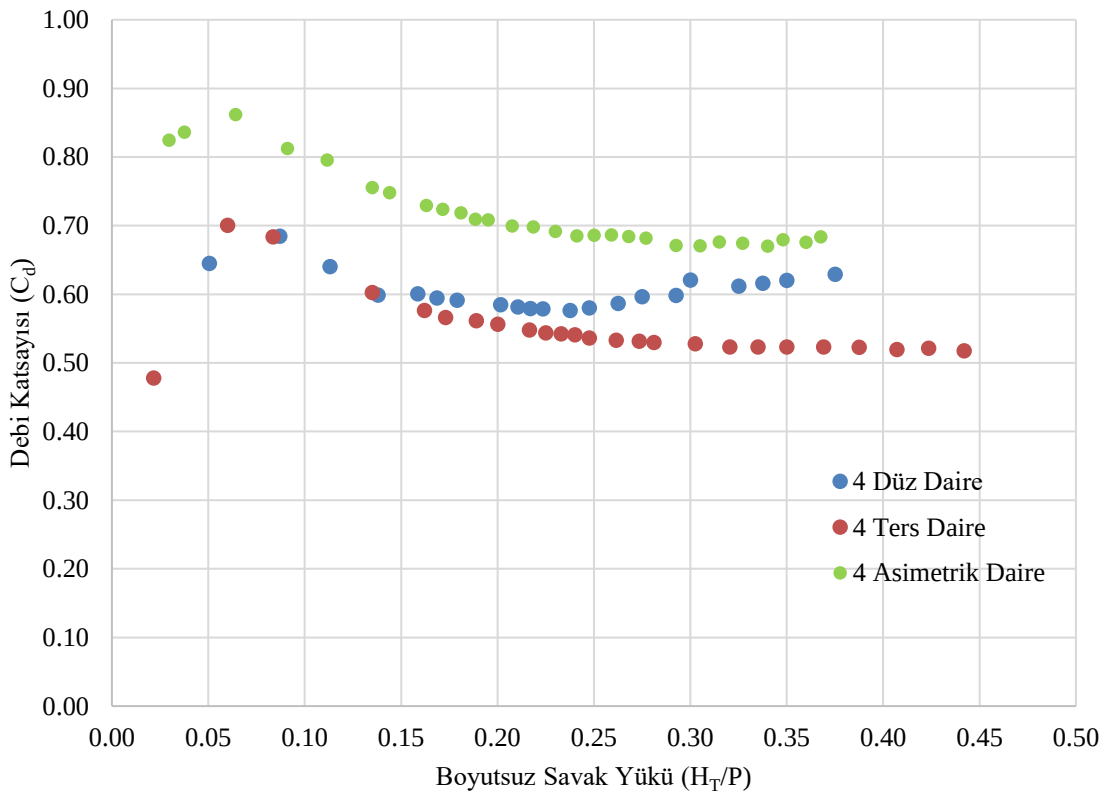
Savak katsayıları ( $C_d$ ) ile karşılaştırma yapıldığında net kret uzunluğunun ( $L_{net}$ ) etkisi ortadan kalkmaktadır; fakat dairesel savaklarda kullanılan bütün konfigürasyonların net kret uzunluğu aynıdır ve  $L_{net}=94.24$  cm olmaktadır. Dairesel labirent savakların, savak katsayısı hesabında, Denklem (5.2) kullanılmıştır. Savak yükü ve debi değerlerine bağlı olarak elde edilen savak katsayılarının karşılaştırılmaları Şekil 5.10 ve Şekil 5.18 arasında verilmiştir. Savak katsayıları ( $C_d$ ) karşılaştırıldığı zaman en iyi debi performansını asimetrik savak konfigürasyonu vermektedir. Savak katsayıları ( $C_d$ ) bakımından  $C_{d-Asimetrik} > C_{d-Düz} > C_{d-Ters}$  olmaktadır. Savak yüksekliği ( $P$ ) arttıkça ters ve düz konfigürasyona sahip savakların savak katsayıları birbirine yaklaşmaktadır.  $P=20$  cm savak yüksekliğine sahip savaklarda ters ve düz konfigürasyona sahip savakların savak katsayıları arasında fark bulunurken savak yüksekliği arttıkça bu konfigürasyonlarda savak katsayıları birbirine yaklaşmaktadır.  $P=40$  cm’de ters ve düz savakların savak katsayıları neredeyse aynı olmaktadır. Debi katsayısının ( $C_d$ ) döngü sayısına bağlı olarak değişimi üçgen savaklardakine benzer olmaktadır. Döngü sayısı arttıkça, debi katsayısı azalmaktadır. Bu durum bütün konfigürasyonlar ve savak yükseklikleri için geçerli olmaktadır.



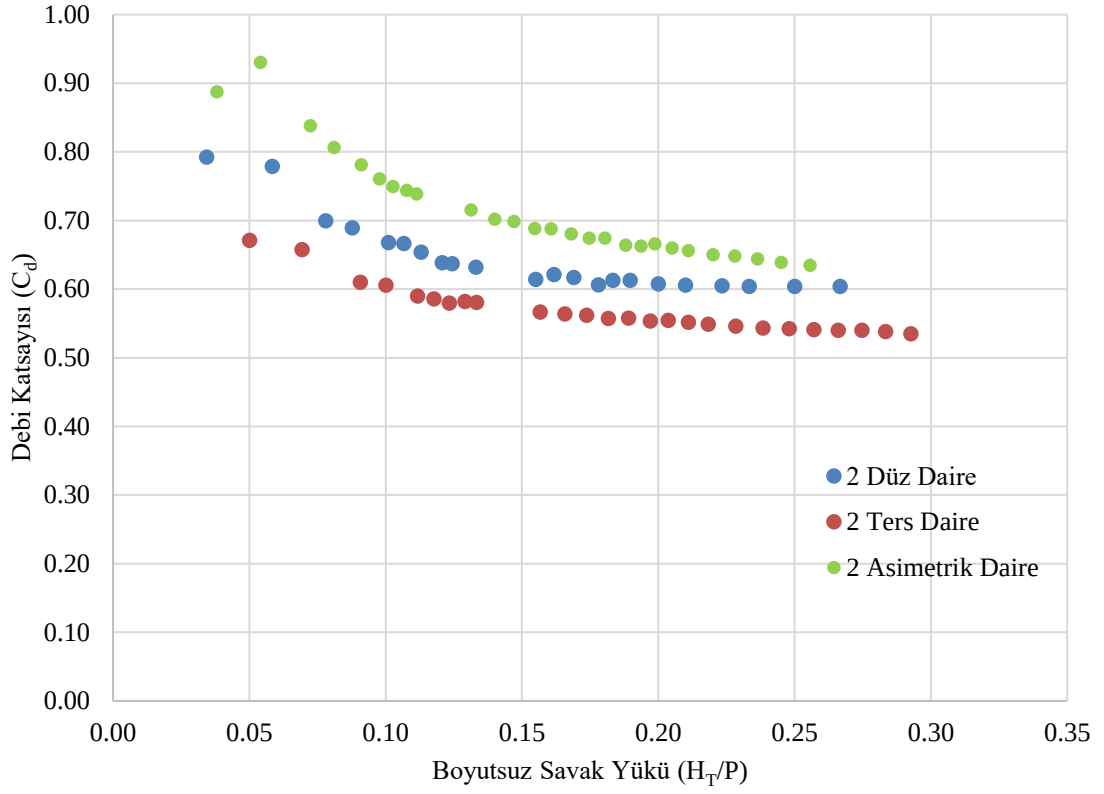
Şekil 5.10.  $P=20$  cm ,  $N=2$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d-H_T/P$  karşılaştırması



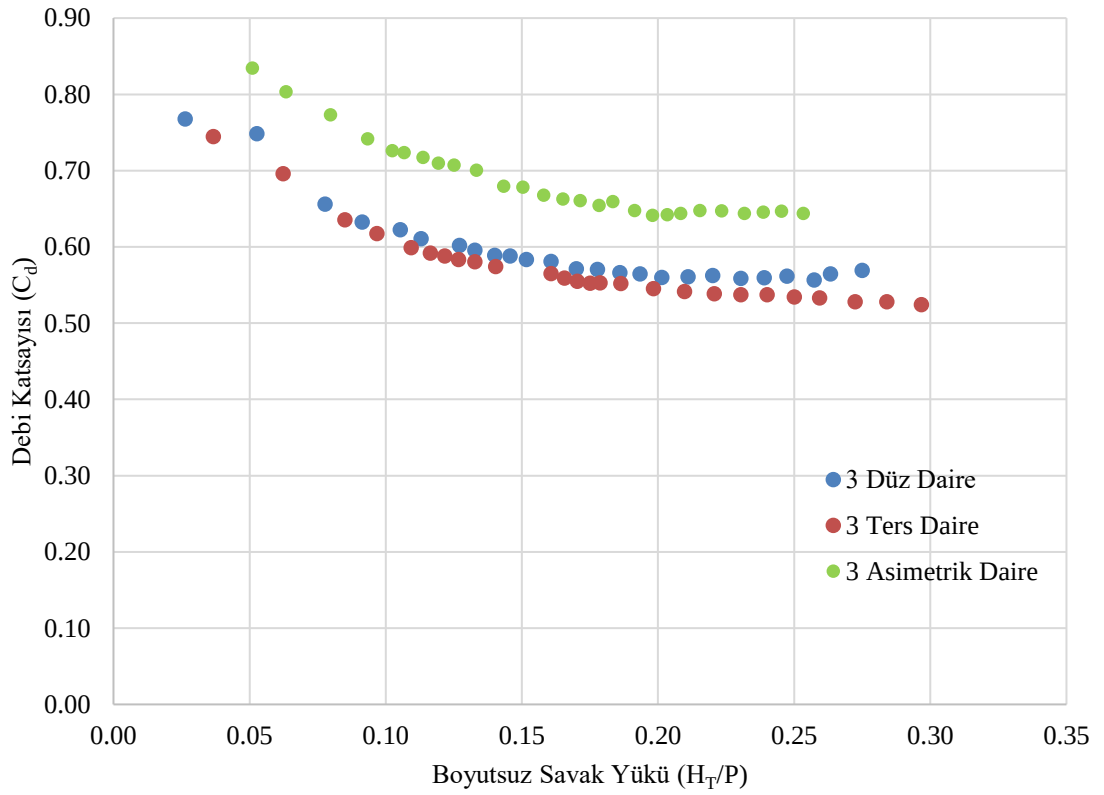
Şekil 5.11.  $P=20$  cm ,  $N=3$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d-H_T/P$  karşılaştırması



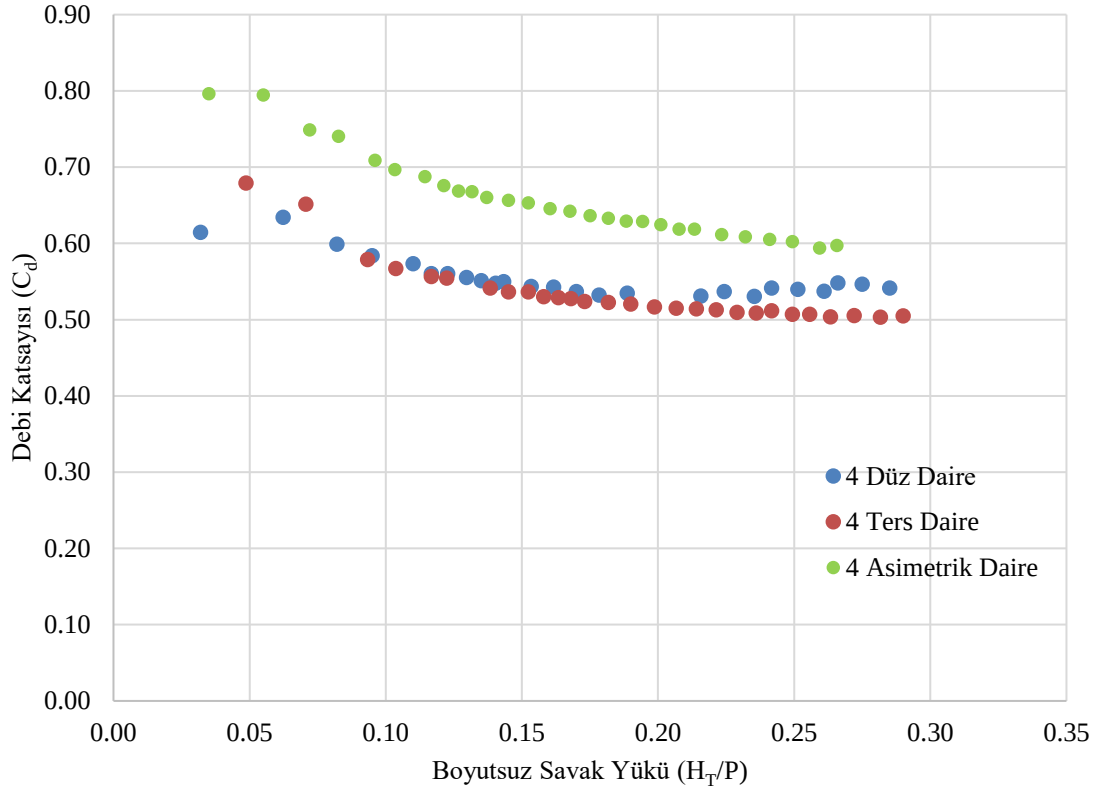
Şekil 5.12.  $P=20$  cm ,  $N=4$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d-H_T/P$  karşılaştırması



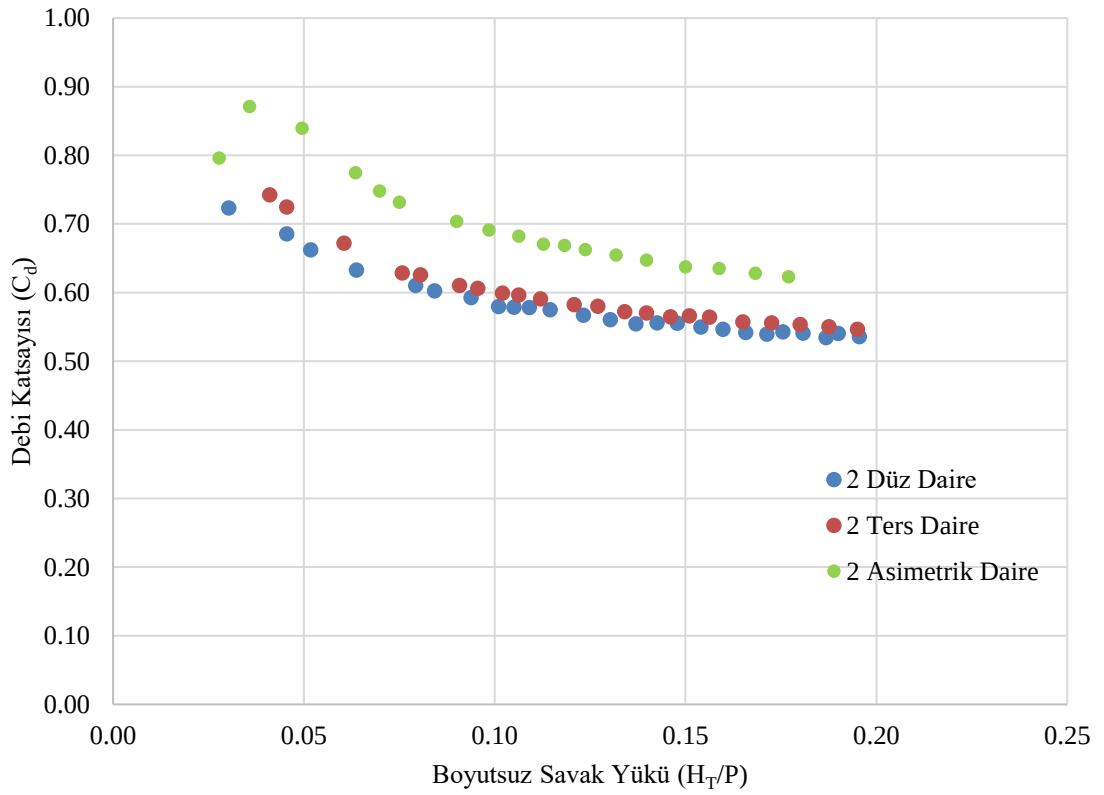
Şekil 5.13.  $P=30$  cm,  $N=2$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



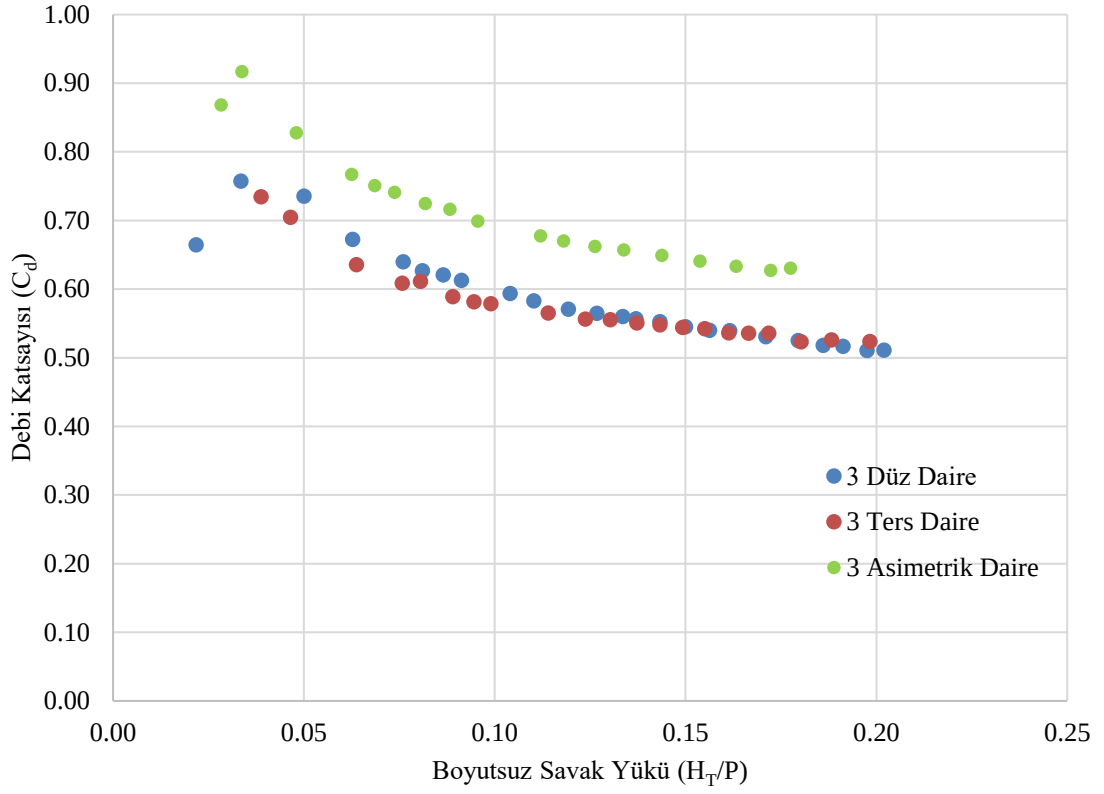
Şekil 5.14.  $P=30$  cm,  $N=3$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



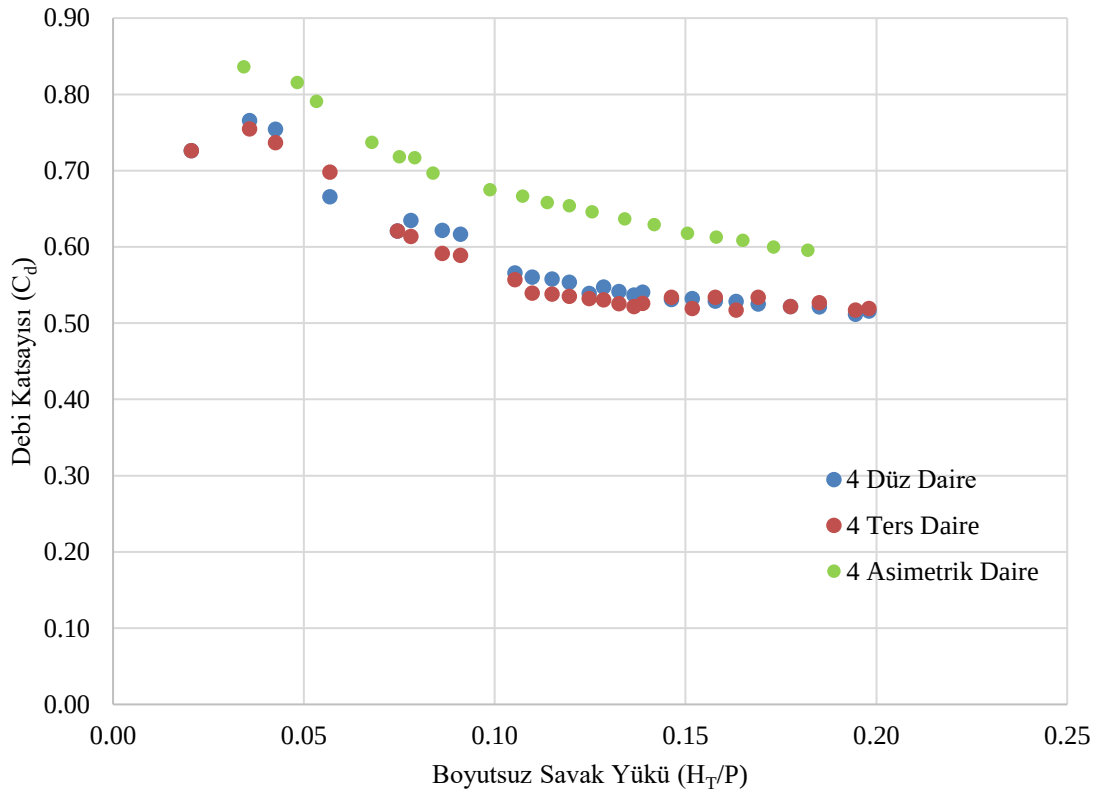
Şekil 5.15.  $P=30$  cm,  $N=4$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



Şekil 5.16.  $P=40$  cm,  $N=2$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



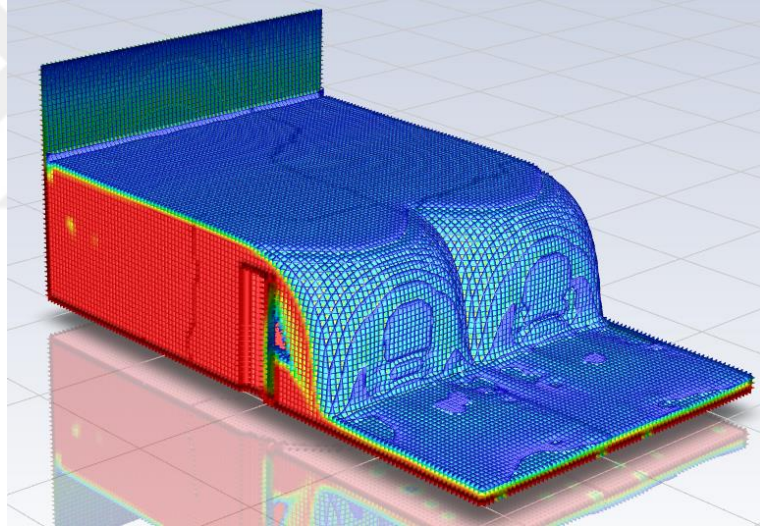
Şekil 5.17.  $P=40$  cm,  $N=3$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



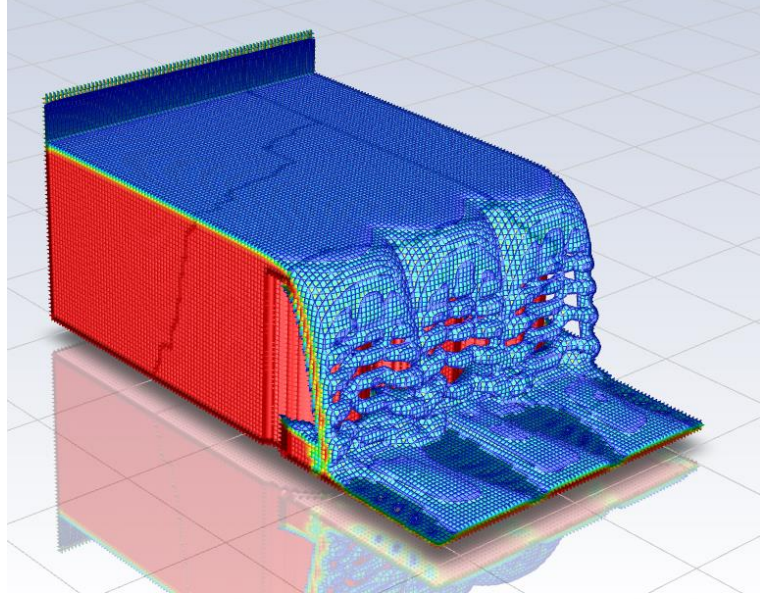
Şekil 5.18.  $P=40$  cm,  $N=4$  döngü içeren dairesel kesitli savakların  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması

### 5.1.3. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

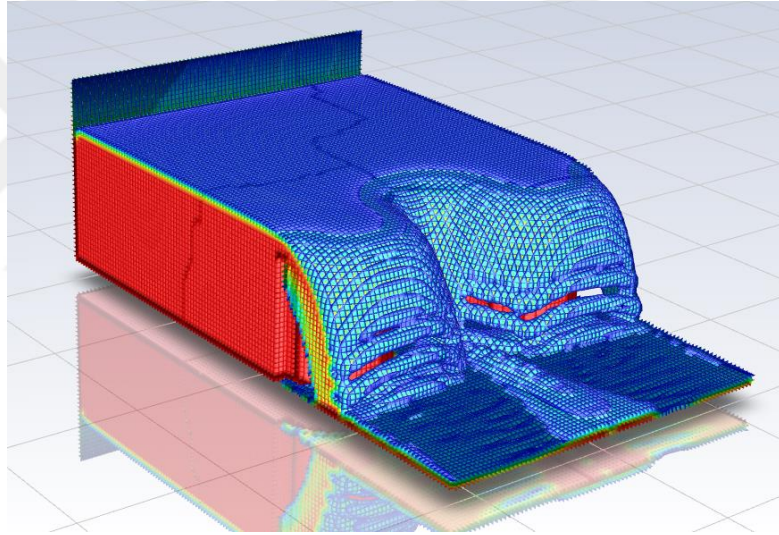
Nümerik modellerden ve deneylerden elde edilen sonuçlar, savak yükü ( $H_T$ ) ve debi ( $Q$ ) bakımından karşılaştırılmıştır. Her iki modelde debilere karşılık gelen savak yükleri okunmuş ( $H_T$ ) ve grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Grafiksel olarak karşılaştırmadaki amaç nümerik modelde verilen debi değerlerinin aynı değerde deneylerde bulunmamasıdır. ANSYS-Fleunt programı analizlerin sayısal sonuçlarının yanından görsel 3-boyutlu sonuçlar da vermektedir. Bu görsel sonuçlar sayesinde elde edilen nümerik modelin, fiziksel deneyler ile tutarlı sonuçlar verdiği kontrol edilebilmektedir. Bu görsellerden akımın izlediği yol, suyun savaklar üzerinden dökülürken oluşturduğu profil ve nap akımlarının durumlarına bakılmaktadır. Analizler sonucunda dairesel labirent savakların nümerik modellerinden elde edilen görsel sonuçlar savak yüksekliği, içerdiği döngü sayısı ve konfigürasyona bağlı olarak Şekil 5.19 - Şekil 5.21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.19. P=20 cm için 2 düz daire labirent savağın nümerik model görünümü



**Şekil 5.20.** P=30 cm için 3 düz daire labirent savağın nümerik model görünümü

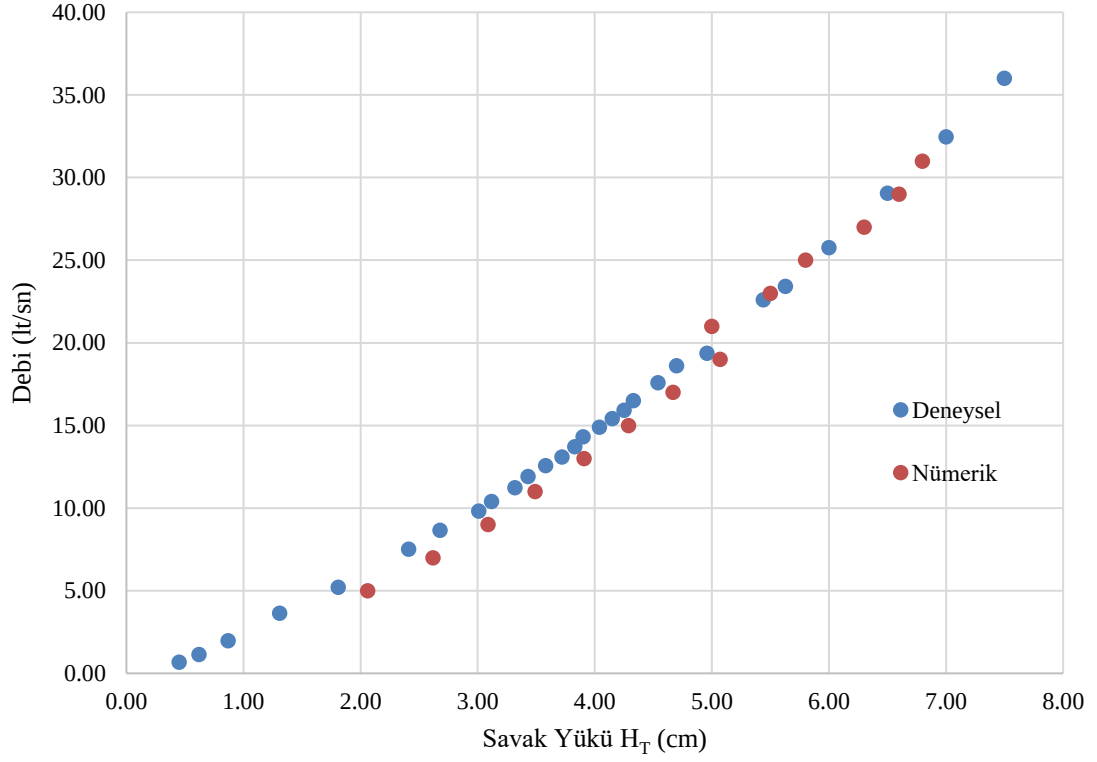


**Şekil 5.21.** P=20 cm için 3 asimetrik daire labirent savağın nümerik model görünümü

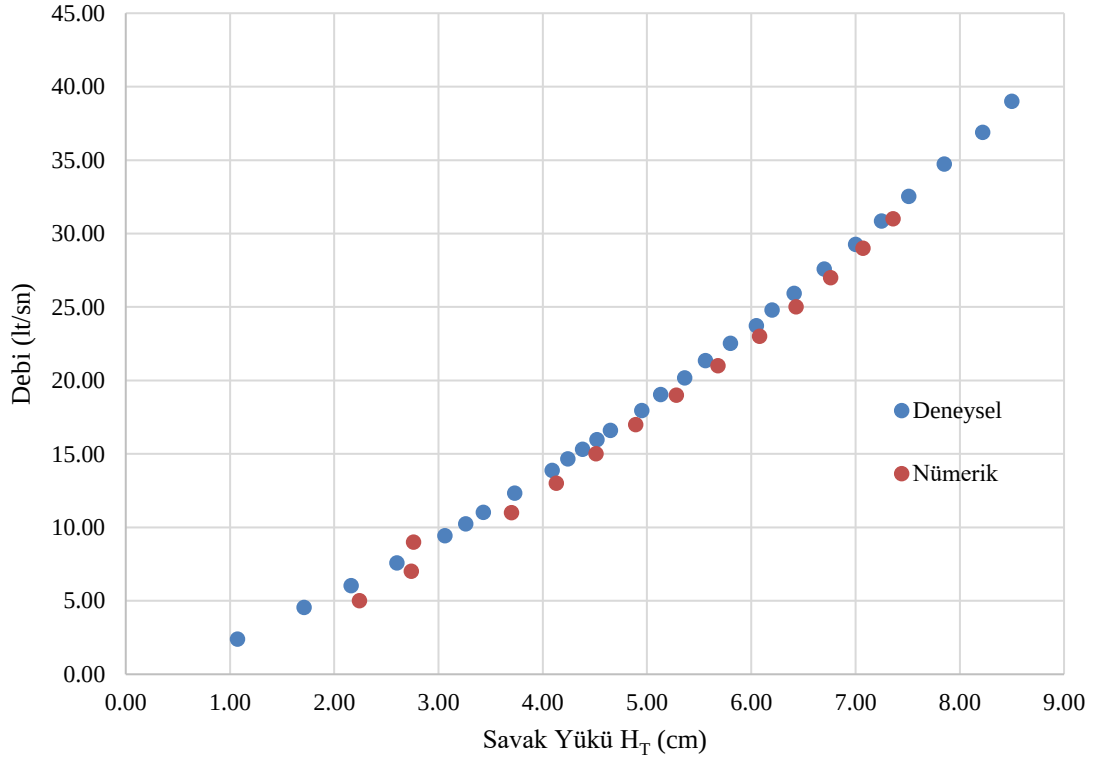
Dairesel savakların nümerik modelleri, üçgen savaklarınkine benzer şekilde oluşturulmuştur. Üçgen ve dairesele savakların nümerik modellerinin oluşturulmasında aynı adımlar ve metotlar izlenmiştir. Dairesel savakların nümerik modellerinde ortalama olarak 460000 mesh (eleman) kullanılmıştır. Üçgen savaklara göre, dairesele savaklarda daha sık debi aralıkları ile analizler yapılmıştır.

Üçgen kesitli labirent ve düz savakların nümerik modellerinde,  $Q=5-7-11-13-15-17-19-21-23-25-27-29-31-33-35$  lt/s olmak üzere 15 adet debi (Q) değeri ile analizler yapılmıştır. Analizler, giren ve çıkan debiler eşitlenip, sistem stabil hale gelinceye kadar devam ettirilmiştir.

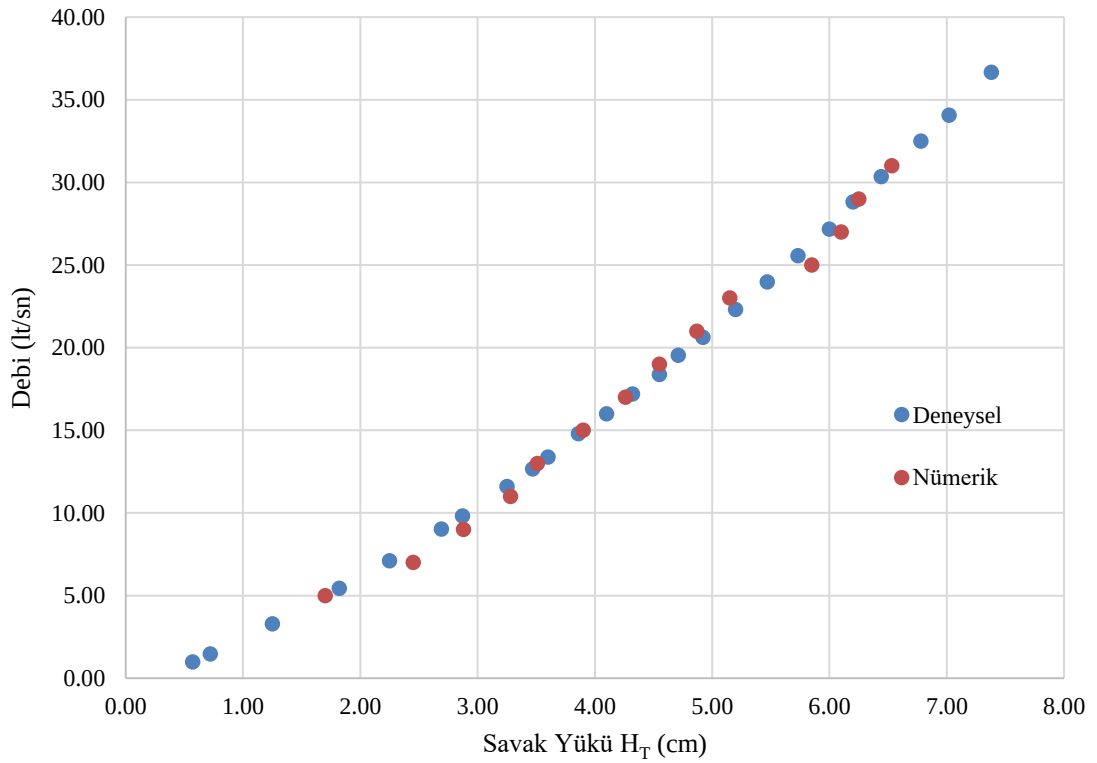
Aynı savak yüksekliğine ( $P$ ) ve aynı konfigürasyona sahip deneysel ve nümerik modellerden elde edilen savak yükleri ( $H_T$ ) ve debi değerleri ( $Q$ ) aynı grafik üzerinde gösterilerek karşılaştırılmıştır (Şekil 5.22 ve Şekil 5.30). Elde edilen grafikler incelendiğinde nümerik modellerin, deneyler ile tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.



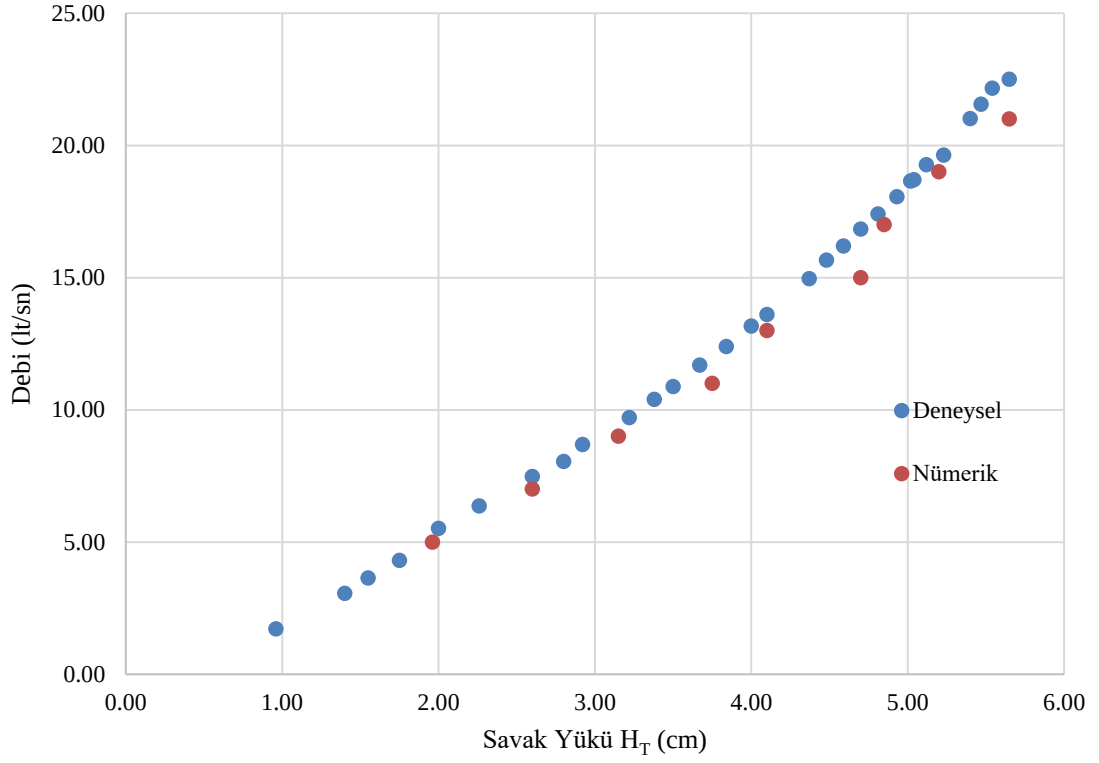
Şekil 5.22.  $P=20$  cm,  $N=2$  düz daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



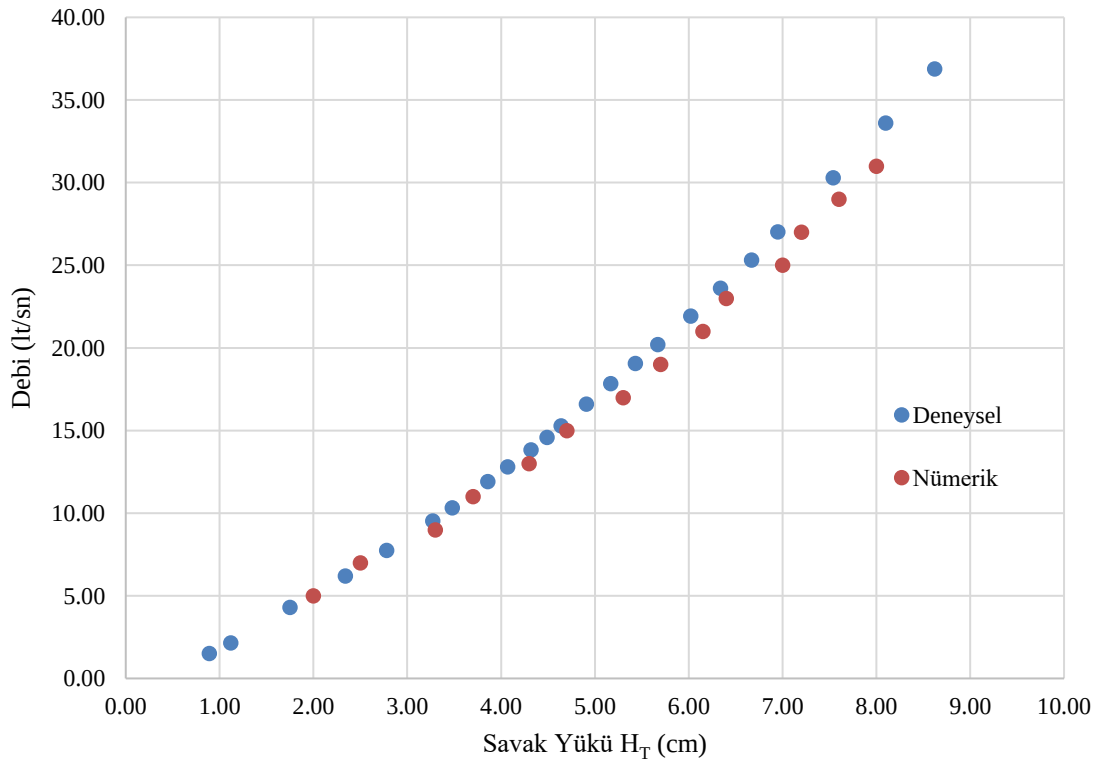
Şekil 5.23. P=20 cm, N=2 ters daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



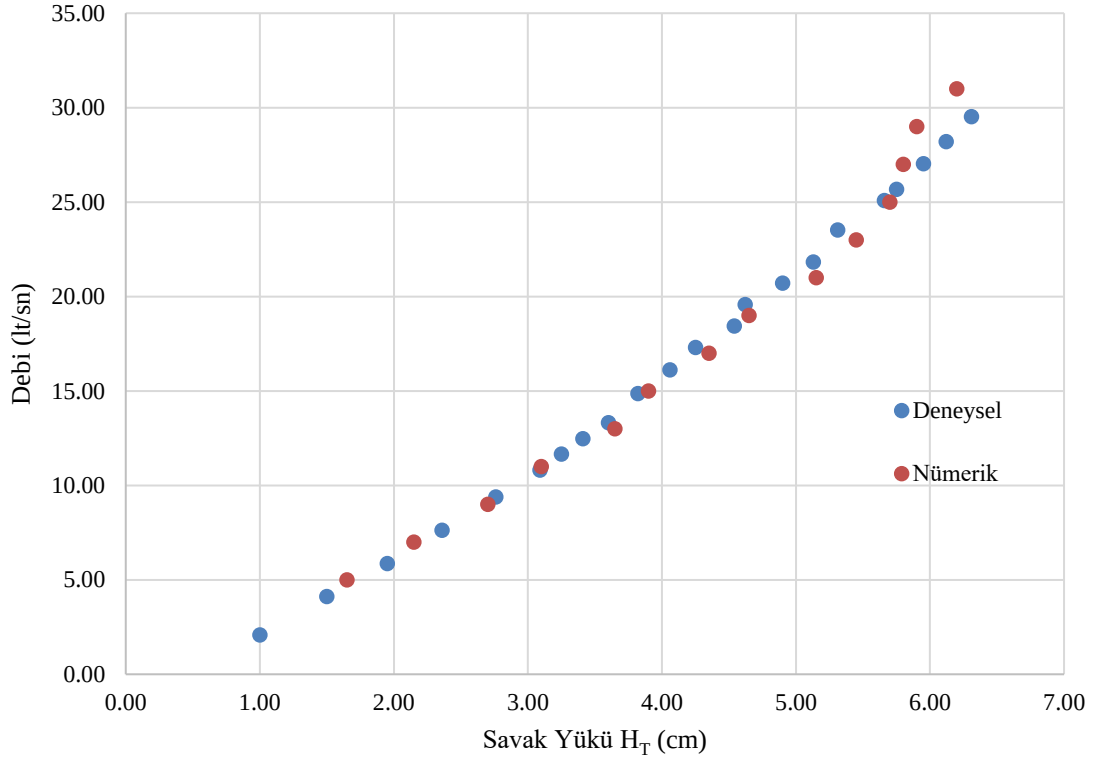
Şekil 5.24. P=20 cm, N=2 asimetrik daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



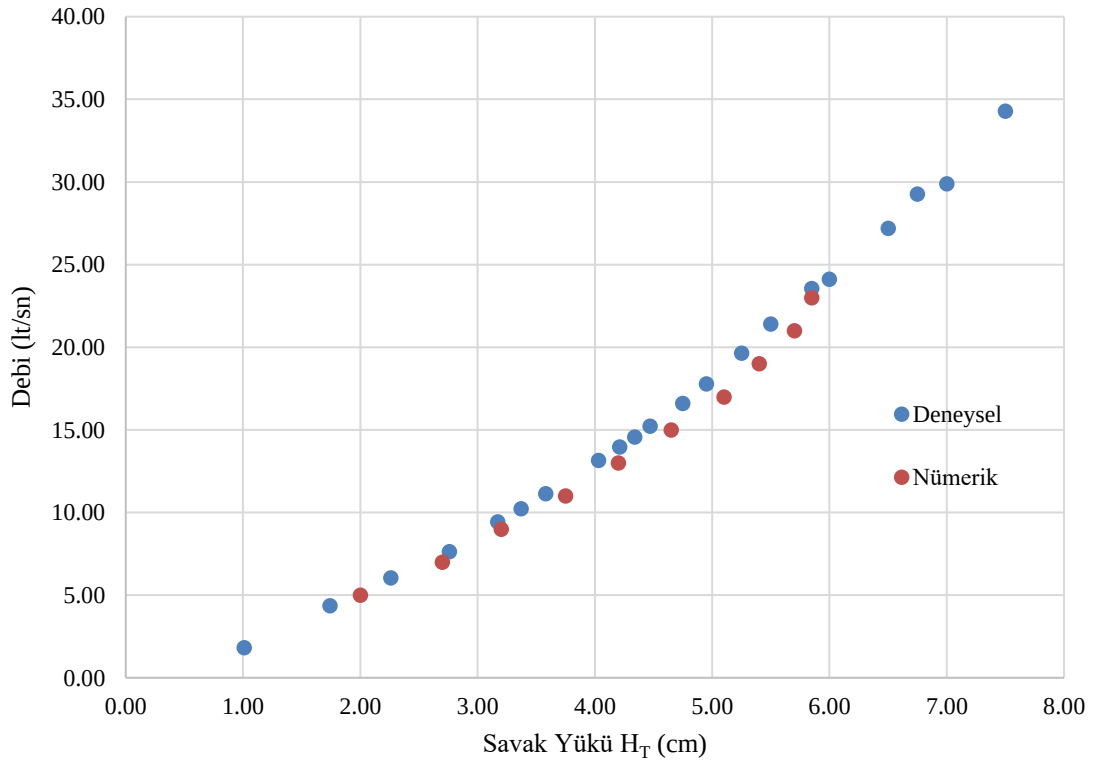
Şekil 5.25. P=20 cm, N=3 düz daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



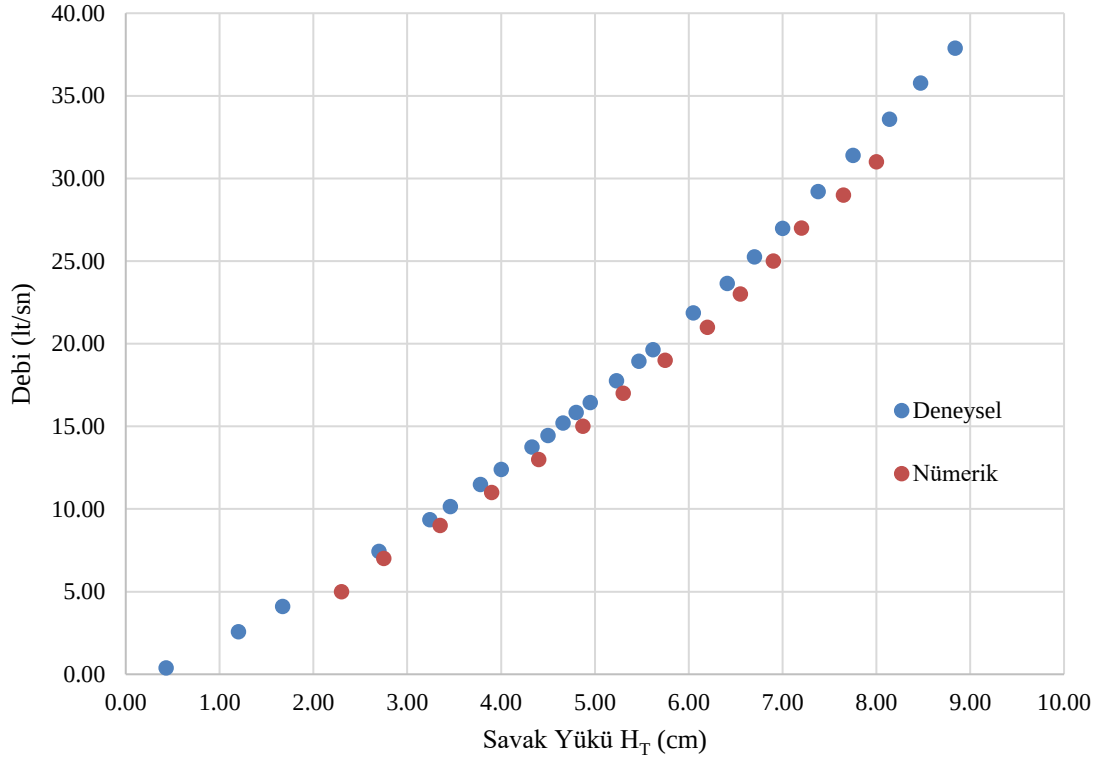
Şekil 5.26. P=20 cm, N=3 ters daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



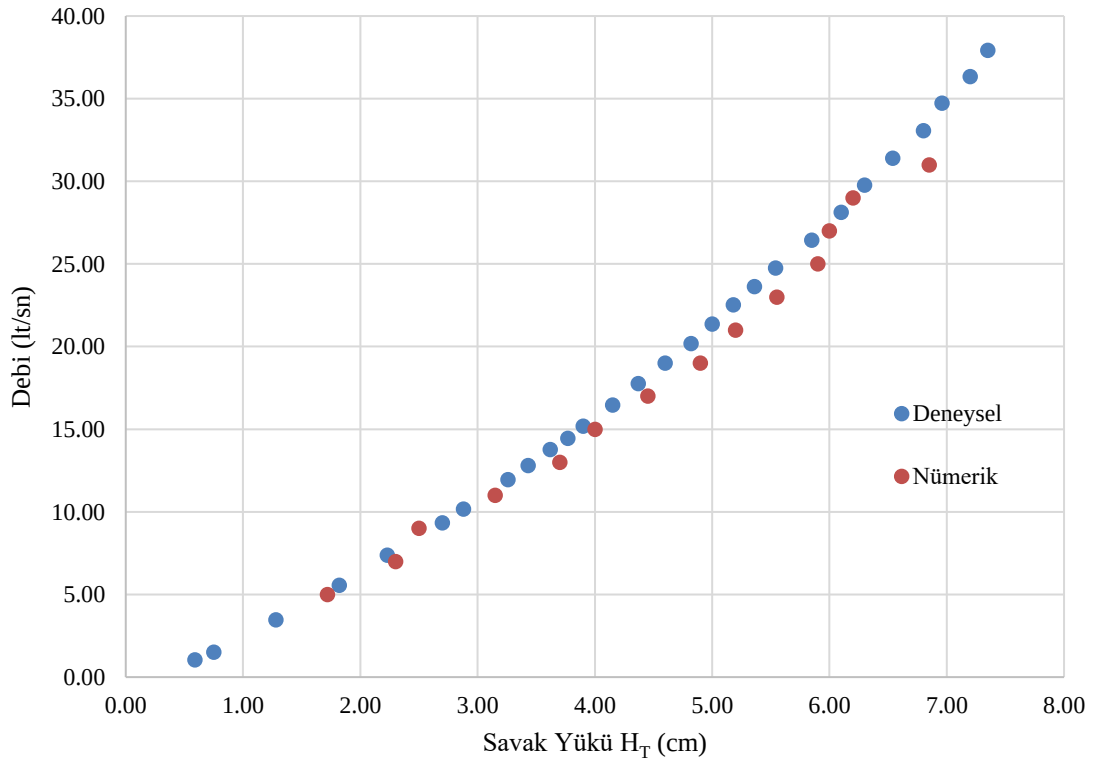
Şekil 5.27.  $P=20$  cm,  $N=3$  asimetrik daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



Şekil 5.28.  $P=20$  cm,  $N=4$  düz daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



Şekil 5.29.  $P=20$  cm,  $N=4$  ters daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



Şekil 5.30.  $P=20$  cm,  $N=4$  asimetrik daire için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

## 5.2. Üçgen Savakların Deney Sonuçları

Üçgen ve düz savaklara ait deney sonuçlarını gösteren grafiksel veriler Şekil 5.31 ve Şekil 5.41 arasında gösterilmiştir. Üçgen savaklardan elde edilen sonuçlar savak yükü ( $H_T$ ) - Debi ( $Q$ ) ve debi katsayısı ( $C_d$ ) – boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) olmak üzere iki farklı açıdan karşılaştırılmıştır. Savak yükü ( $H_T$ ) - Debi ( $Q$ ) karşılaştırmasının yapılmasındaki amaç aynı savak yükünde ( $H_T$ ) hangi savağın daha fazla debi geçirdiğini belirlemektir. Aynı savak yükünde daha fazla debi ( $Q$ ) geçiren savak diğer savaklara göre daha yüksek debi deşarj performansına sahiptir. Üçgen ve düz savakların performansını karşılaştırmak ve deneysel sonuçları teorik olarak daha doğru yorumlamak için Tullis ve ark. (1995) tarafından önerilen keskin kenarlı savaklardan labirent savaklara uyarlanan Denklem (5.1) kullanılmıştır. Denklem (5.1) incelendiğinde, denklemdaki değişkenler savak yükü ( $H_T$ ), net kret uzunluğu ( $L_{net}$ ) ve debi katsayısıdır ( $C_d$ ). Eğer farklı konfigürasyondaki savaklar, aynı savak yükünde ( $H_T$ ) daha fazla debi geçiriyorsa bunun iki sebebi olmaktadır. Savağın debi katsayısı veya net kret uzunluğu diğer konfigürasyondaki savaklara göre daha fazladır.

$$Q = \frac{2}{3} * C_d * L_{net} * \sqrt{2 * g * H_T^{1.5}} \quad (5.1)$$

Burada;

$Q$  : Debi

$C_d$  : Boyutsuz debi katsayısı

$L_{net}$  : Net kret uzunluğu

$g$  : Yerçekimi ivmesi

$H_T$  : Savak yükü

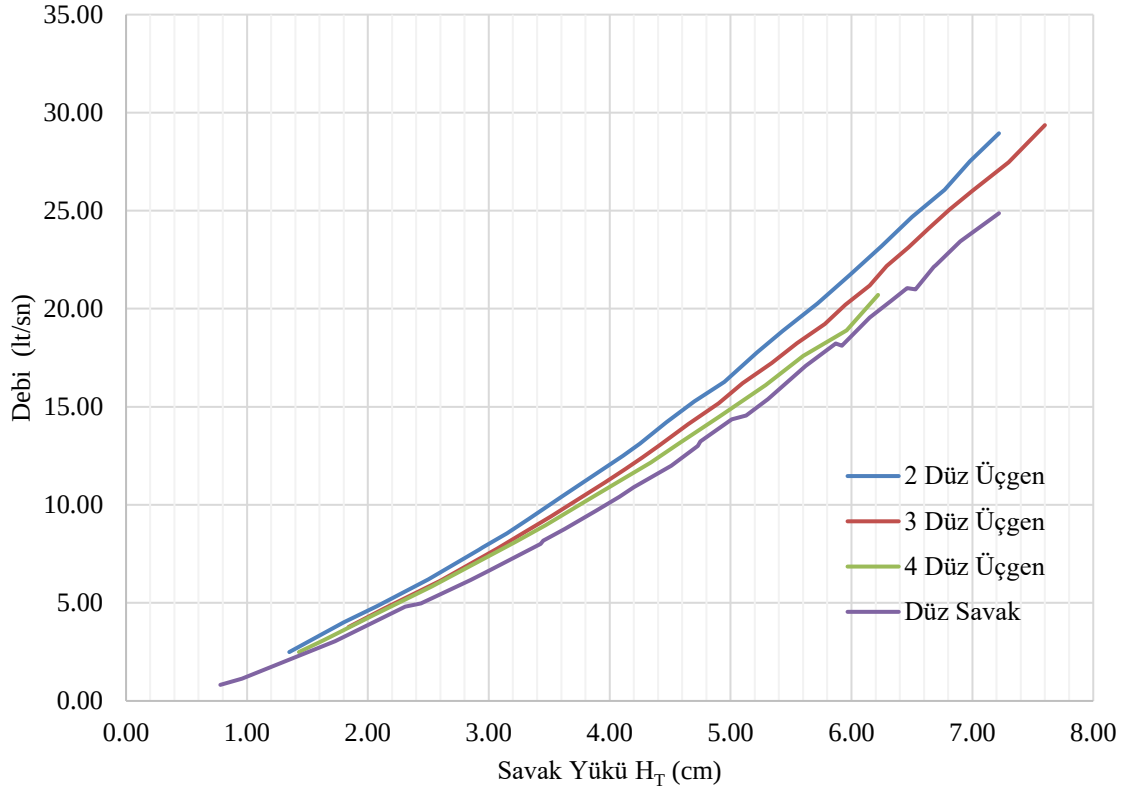
Deneylerde kullanılan üçgen savakların konfigürasyonlarından ve kullanılan döngü (N) sayısından bağımsız olarak bütün üçgen savaklar için toplam net kret uzunluğu  $L_{net}=84.88$  cm olmaktadır (Şekil 4.2). Düz savakların ise net kret uzunluğu, kanal genişliğine eşit olarak  $L_{net}=60$  cm olmaktadır. Üçgen ve düz savaklardan elde edilen savak yükü ( $H_T$ ) - Debi ( $Q$ ) karşılaştırması sonuçları Şekil 5.31 - Şekil 5.34 arasından her bir savak yüksekliği ve farklı konfigürasyonlar için ( $P=20$  cm,  $P=30$  cm ve  $P=40$  cm) için ayrı ayrı olarak verilmiştir. Her bir savak yükü için verilen grafiklerde farklı

konfigürasyonlar farklı eğriler ile gösterilerek bu konfigürasyonlar içerdikleri üçgen döngü sayısına göre adlandırılmışlardır.

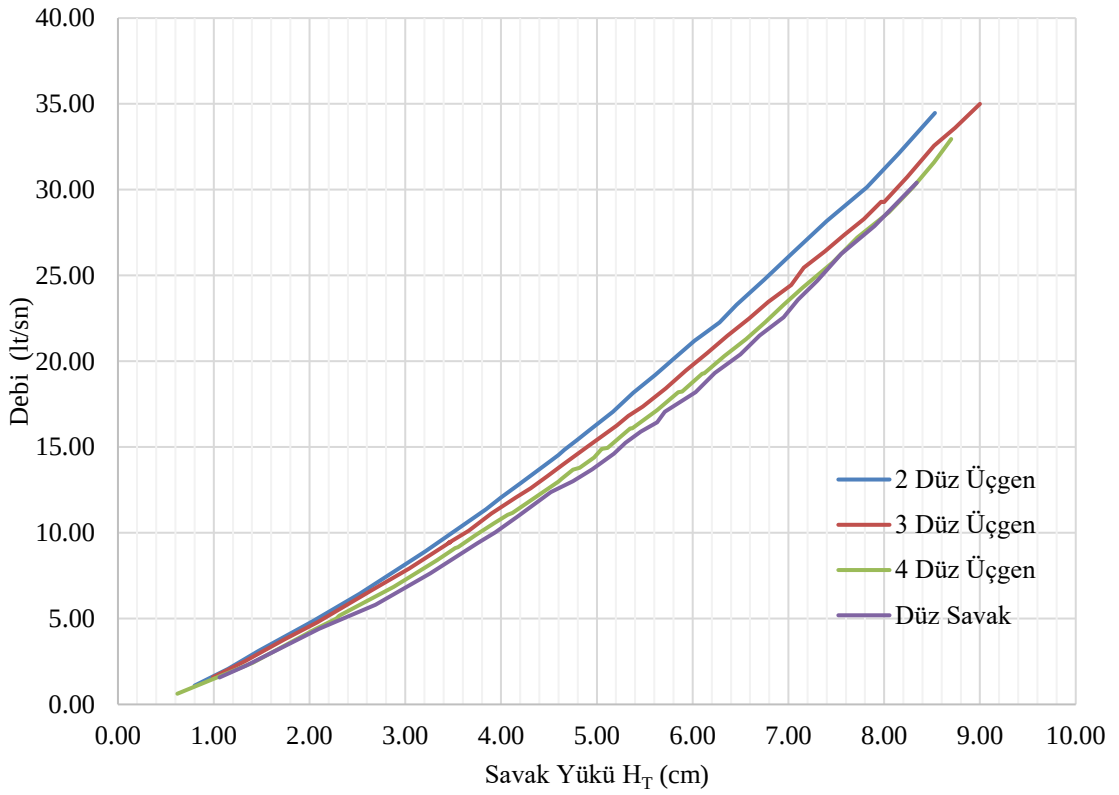
### 5.2.1. Savak yükü ( $H_T$ ) – Debi ( $Q$ ) karşılaştırması

Savak yükü ( $H_T$ ) - Debi ( $Q$ ) yükü eğrileri incelendiğinde bütün savak yükseklikleri için, aynı savak yükünde en fazla debiyi 2 düz üçgen savak geçirmiştir. 2 düz üçgen savaktan sonra sırası ile 3 düz üçgen, 4 düz üçgen ve düz savak gelmektedir. Aynı savak yükünde debi sıralaması  $Q_{2 \text{ Düz Üçgen}} > Q_{3 \text{ Düz Üçgen}} > Q_{4 \text{ Düz Üçgen}} > Q_{\text{düz}}$  olmaktadır. Bu sıralamadan anlaşılabacağı üzere savakların içerdiği döngü sayısı arttıkça savağın performansı azalmaktadır. Bunun başlıca sebebi döngü sayısı arttıkça nap akımlarının girişim oluşturduğu bölge sayısı artması ve bu girişim alanının daha fazla yer kaplamasıdır (Şekil 2.8). Bu sıralamada düz savakların en az debi performansı sergilemesinin sebebi ise net kret uzunluğunun ( $L_{net}$ ) üçgen savaklara göre az olmasıdır. Bu sebeple kıyas yapılırken savak katsayılarının ( $C_d$ ) karşılaştırılması daha doğru olacaktır. Savak katsayılarını ( $C_d$ ) karşılaştırmak için Denklem (5.1)'in düzenlenmesinden elde edilen Denklem (5.2) kullanılmıştır.

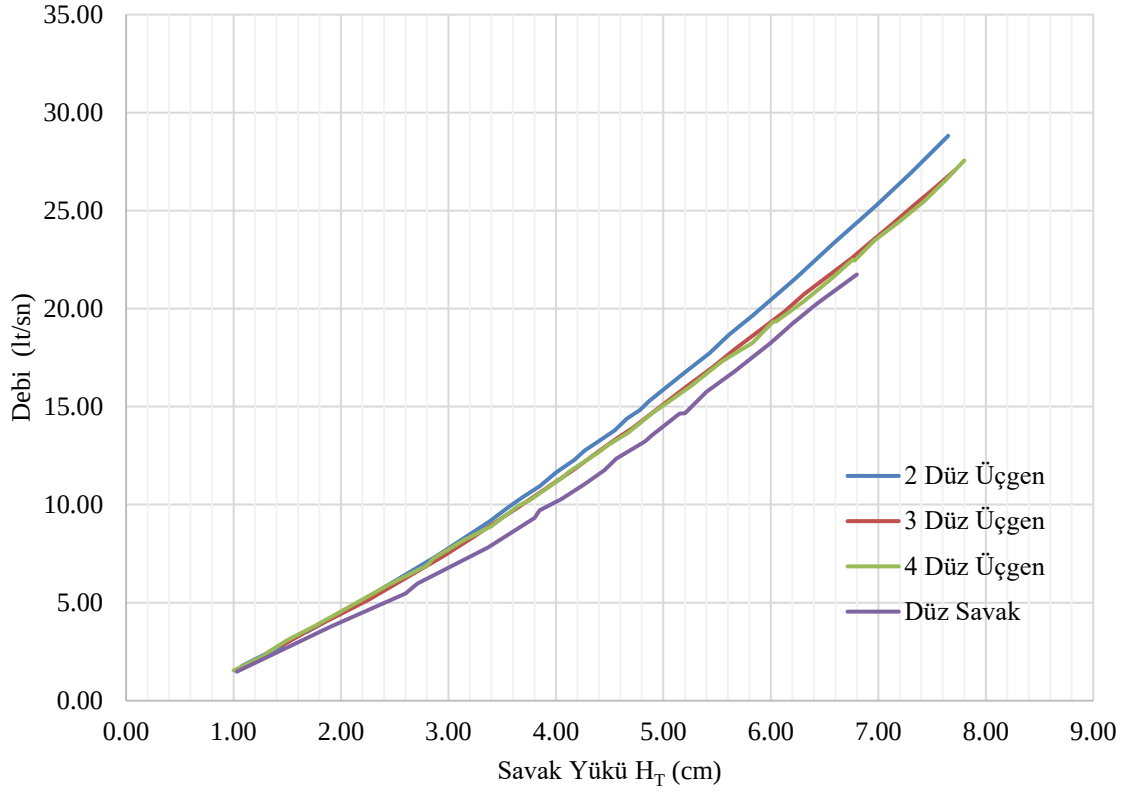
$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} * L_{net} * \sqrt{2 * g} * H_T^{1.5}} \quad (5.2)$$



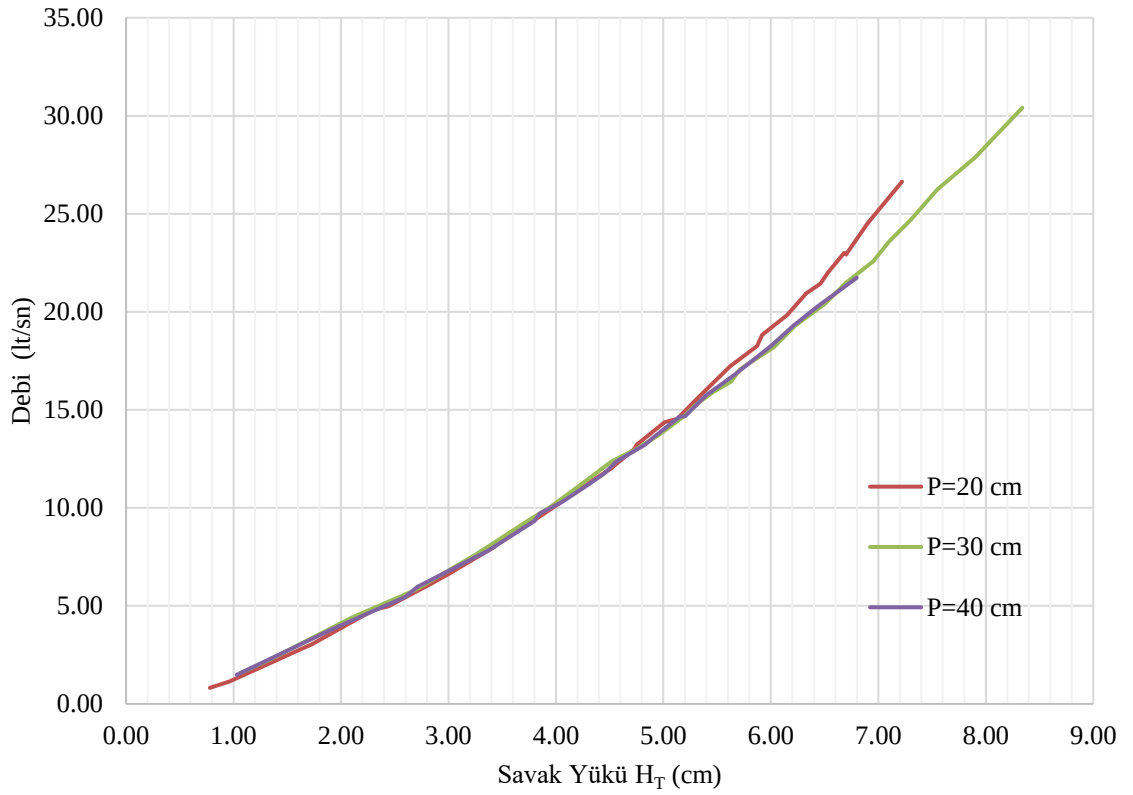
Şekil 5.31.  $P=20$  cm savak yüksekliğine sahip üçgen kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



Şekil 5.32.  $P=30$  cm savak yüksekliğine sahip üçgen kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



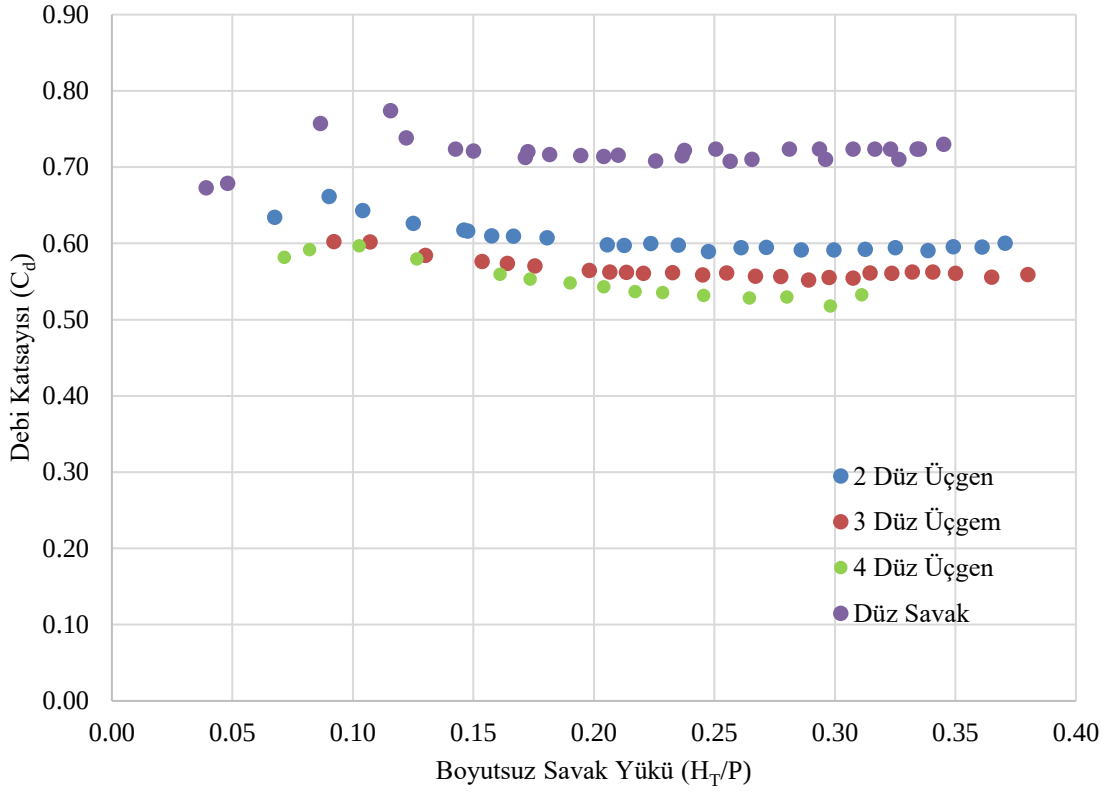
Şekil 5.33.  $P=40$  cm savak yüksekliğine sahip üçgen kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması



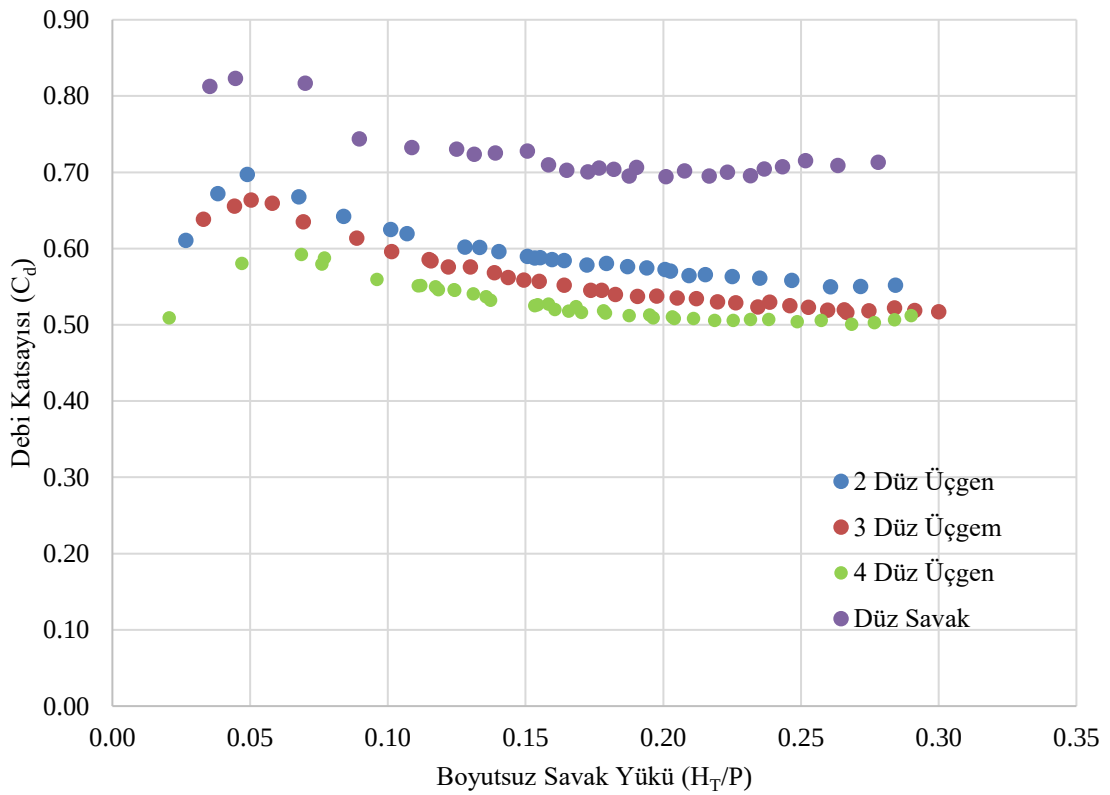
Şekil 5.34. Düz kesitli savakların  $Q-H_T$  karşılaştırması

### 5.2.2. Debi katsayısı ( $C_d$ ) – Boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) karşılaştırması

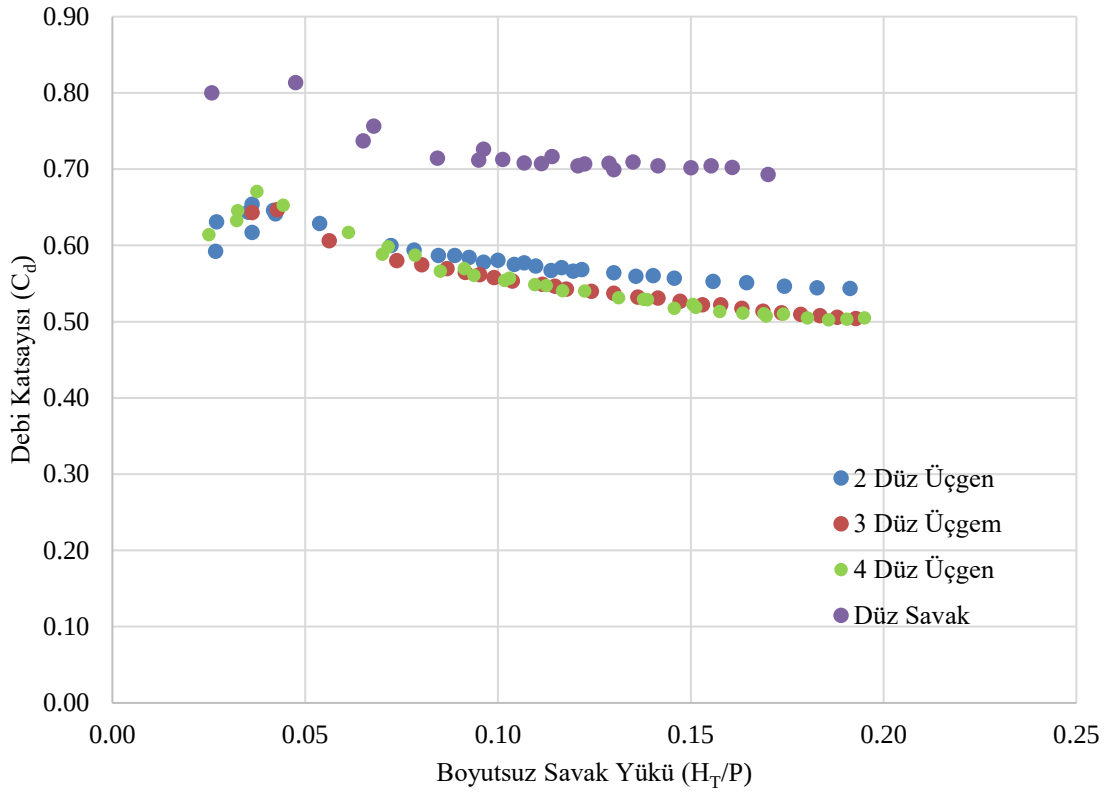
Savak katsayıları ( $C_d$ ) ile karşılaştırma yapıldığında net kret uzunluğunun ( $L_{net}$ ) etkisi ortadan kalkmaktadır. Farklı konfigürasyondaki savaklardan, farklı debi ve savak yükü ( $H_T$ ) değerlerinden elde edilen savak katsayılarının ( $C_d$ ) karşılaştırılmaları Şekil 5.35 ve Şekil 5.41 arasında verilmiştir. Debi katsayısı ( $C_d$ ) – Boyutsuz Savak Yükü ( $H_T/P$ ) grafiklerindeki savak katsayılarını boyutsuz olarak vermekteki amaç, elde edilen sonuçların savak yüksekliğinden bağımsız olarak bütün savaklar için kullanılabilmesini sağlamaktır. Savak katsayıları ( $C_d$ ) karşılaştırıldığı zaman en iyi debi performansını düz savak vermektedir. Savak katsayıları bakımından  $C_{d \text{ Düz}} > C_{d \text{ 2 üçgen}} > C_{d \text{ 3 üçgen}} > C_{d \text{ 4 üçgen}}$  olmaktadır. Düz savağın debi katsayısı üçgen savaklardan fazla çıkmaktadır. Bu farklılık, suyun savaklara yaklaşım açısının farklılığından ve düz savakların nap akımlarına girişim oluşturacak bölge içermemesinden kaynaklanmaktadır. Düz savak, suyu direk dik açı ile karşılarken bu açı üçgen savaklarda azalmaktadır ve bu durum savaklanmayı düşürmektedir. Üçgen savakların kıyaslanmasında ise durum debi performansı ile aynı çıkmaktadır, çünkü üçgen savakların hepsi aynı net kret uzunluğuna ( $L_{net}$ ) sahiptir. Savak katsayılarının ( $C_d$ ) kıyaslanmasından da anlaşıldığı üzere üçgen kesitli savaklarda döngü sayısı ( $N$ ) arttıkça nap akımlarının girişiminden dolayı savağın performansı azalmaktadır. Ayrıca savak yüksekliği arttıkça farklı konfigürasyonlardaki üçgen savakların savak katsayılarının birbirine yaklaştığı görülmektedir. Şekil 5.37 incelendiğinde,  $P=40$  cm savak yüksekliğine sahip 3 düz üçgen ve 4 düz üçgen savaktan elde edilen debi katsayısı ( $C_d$ ) sonuçları çok yakın çıkmıştır.



Şekil 5.35.  $P=20$  cm savak yüksekliğine sahip üçgen kesitli savakların  $C_d-H_T/P$  karşılaştırması

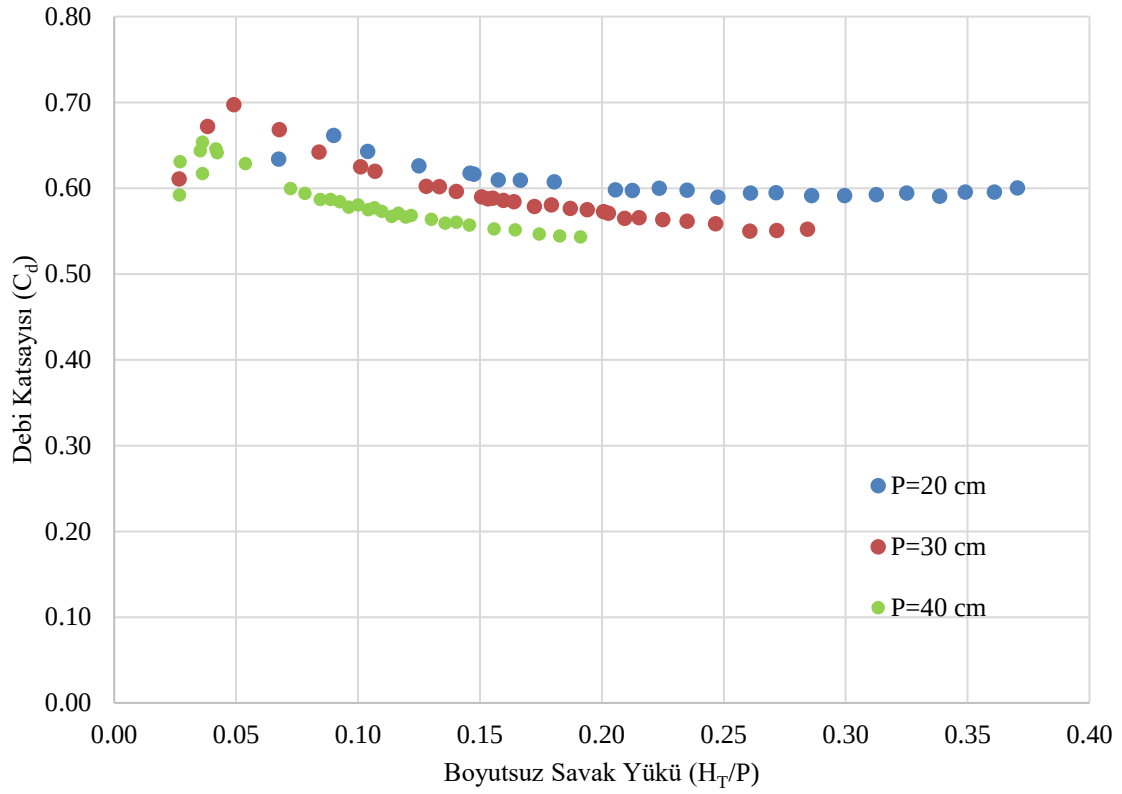


Şekil 5.36.  $P=30$  cm savak yüksekliğine sahip üçgen kesitli savakların  $C_d-H_T/P$  karşılaştırması

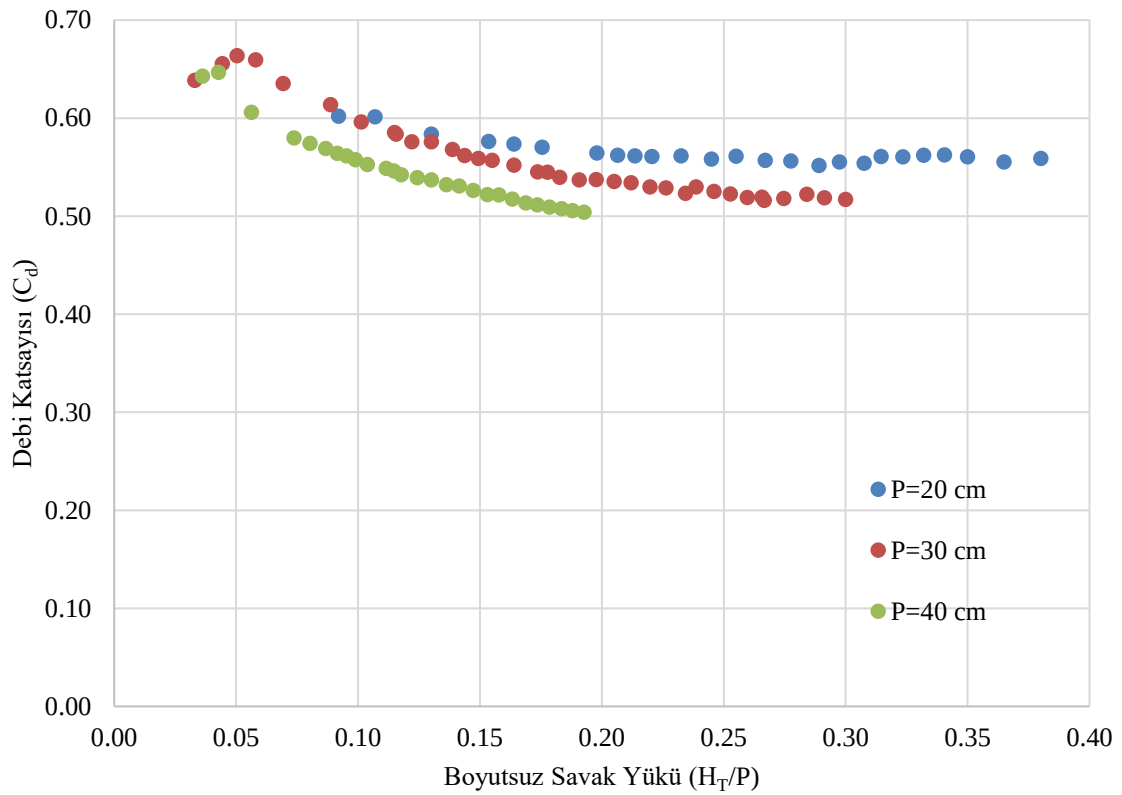


Şekil 5.37.  $P=40$  cm savak yüksekliğine sahip üçgen kesitli savakların  $C_d$ - $H_t/P$  karşılaştırması

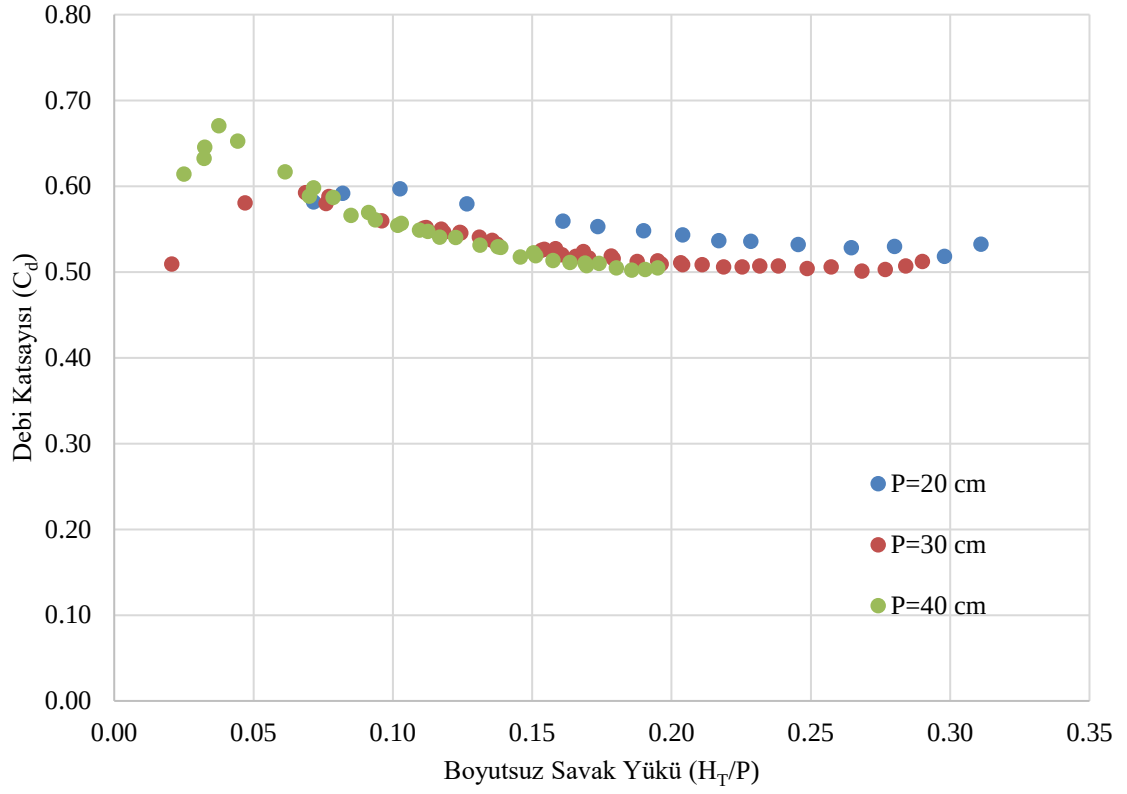
Savak yüksekliğinin ( $P$ ) savak performansına olan etkisini incelemek için aynı konfigürasyona sahip farklı savak yüksekliğinde ( $P$ ) savaklar Şekil 5.38 ve Şekil 5.41 arasında kıyaslanmıştır. Grafikler incelendiğinde savak yüksekliğinin ( $P$ ) debi üzerinde çok anlamlı bir etkisi olmadığı görülmektedir. Fakat savak yüksekliği ( $P$ ) azaldıkça debi katsayısının ( $C_d$ ) bir miktar arttığı gözlenmektedir. Bunun sebebi savak yüksekliği azaldıkça savağın mansap tarafında havalanmanın azalması ve daha fazla vakum etkisinin oluşmasıdır. Vakumun etkisiyle daha fazla su çekilerek debi miktarı artmakta ve dolayısıyla savak yükü azalmaktadır. Bu vakumun havalandırıldığı durumda savak yükü tekrar artarak eski haline dönmektedir.



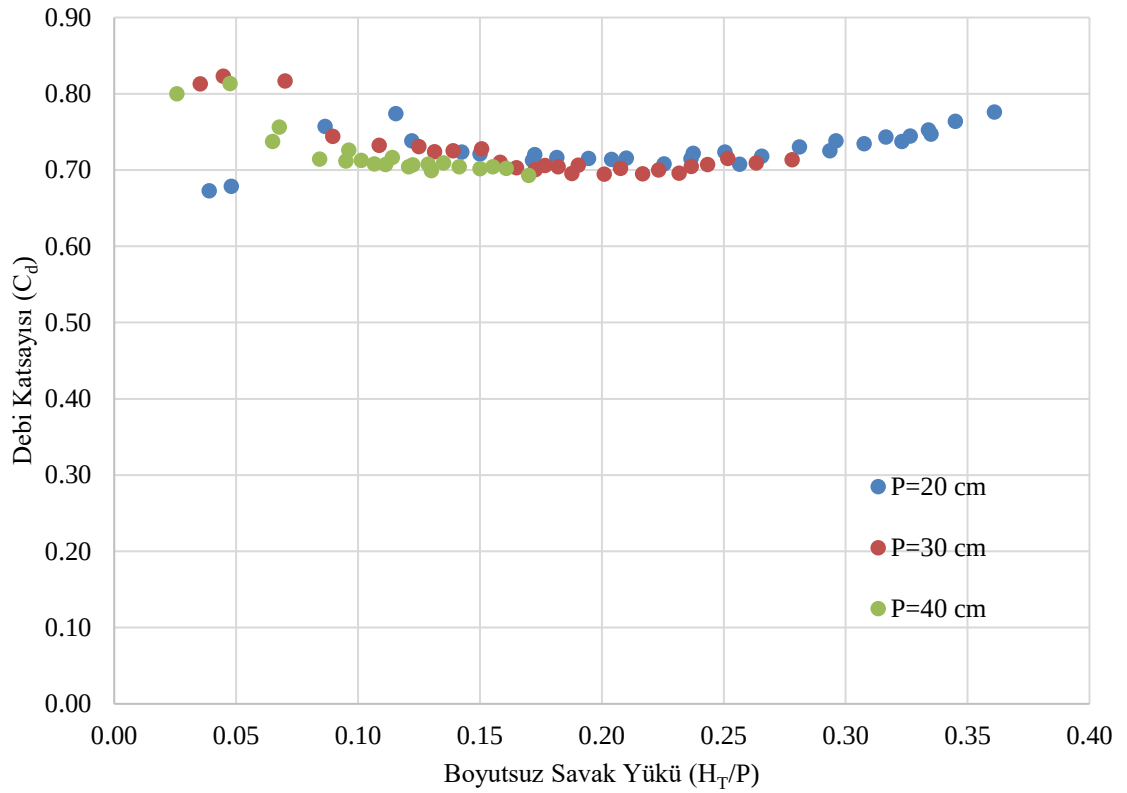
Şekil 5.38. N=2 adet döngüye sahip üçgen savakların farklı savak yüksekliklerinde  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



Şekil 5.39. N=3 adet döngüye sahip üçgen savakların farklı savak yüksekliklerinde  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



Şekil 5.40. N=4 adet döngüye sahip üçgen savakların farklı savak yüksekliklerinde  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması



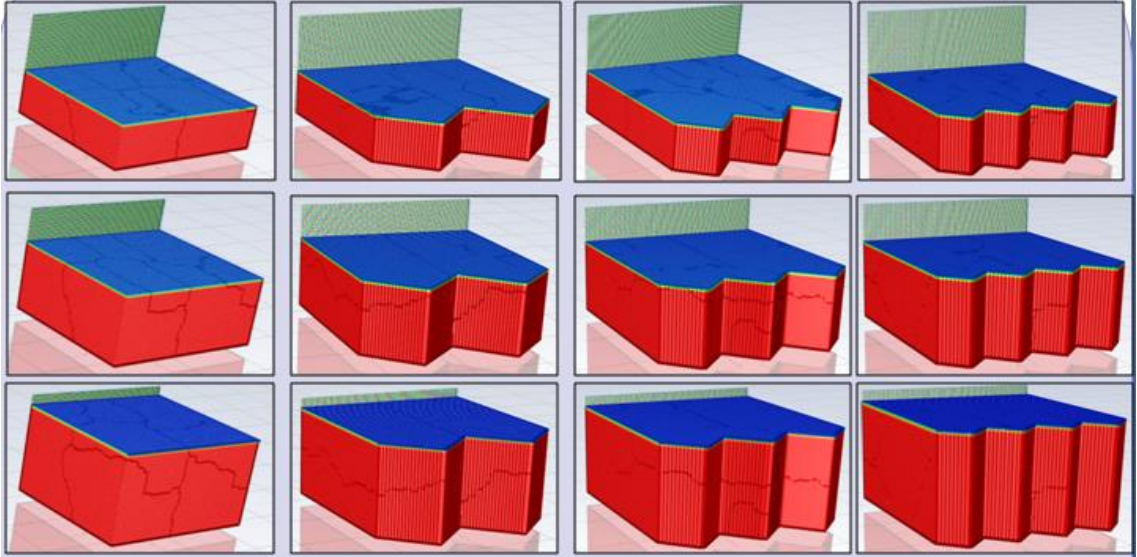
Şekil 5.41. Düz kesitli savakların farklı savak yüksekliklerinde  $C_d$ - $H_T/P$  karşılaştırması

### 5.2.3. Deneysel ve nümerik çalışmaların karşılaştırması

Deneyleri yapılan üçgen ve düz savakların ANSYS-Fluent programı kullanarak nümerik modelleri yapılmıştır. Deneylere bağlı olarak 3 adet düz savak ve 9 adet üçgen olmak üzere toplamda 12 adet nümerik model oluşturulmuştur. Yapılan deneylerde debi, düzeneğe ve savakların kapasitesine bağlı olarak 0 lt/sn'den 40 lt/s'ye kadar artırılmıştır. Üçgen savakların deneylerinde her bir deney yaklaşık olarak 20-30 farklı debi için tekrar edilmiştir. Nümerik modelde, deneylerde okunan bütün debi değerlerini (Q) kullanmak mümkün olmadığı için sadece belirli aralıkta debiler (Q) verilerek analizler yürütülmüştür. Üçgen kesitli labirent ve düz savakların nümerik modellerinde, Q=5-10-15-20-25-30-35 lt/sn olmak üzere 7 adet debi (Q) değeri ile analizler yapılmıştır. Bu debilere karşılık gelen savak yükleri okunarak, deneysel veriler ile aynı grafikler üzerinde gösterilmiştir.

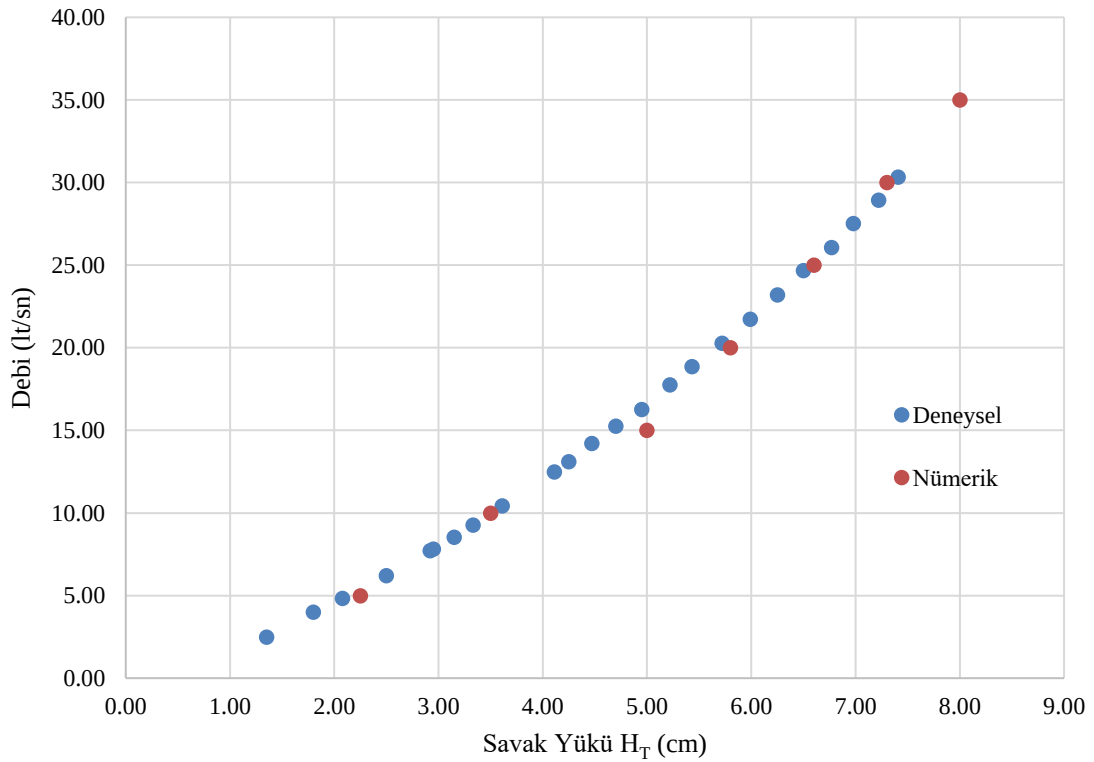
Nümerik modelden elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile iki bakımından karşılaştırılmıştır. Bunlar görsel olarak karşılaştırma ve sayısal olarak karşılaştırmadır. Görsel karşılaştırmada nümerik modelden elde edilen 3 boyutlu görüntüler laboratuvarda yapılan deneyler ile karşılaştırılmıştır. Görsel karşılaştırmada su yüzeyi profilleri, suyun savakların özelliklerine bağlı olarak üzerlerinden dökülme şekli ve döküldükten sonra savakların mansap kısmında oluşturdukları türbülanslar karşılaştırılmıştır.

Sayısal karşılaştırmada ise nümerik model ve deneylerden elde edilen savak yükleri ( $H_T$ ) ve debiler (Q) karşılaştırılmıştır. Nümerik modelleri oluşturulan üçgen savaklar Şekil 5.42'de görülmektedir. Bu debilere karşılık gelen savak yükleri okunarak, deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Her bir debi değerinde yapılan analiz yaklaşık olarak 4 saat sürmüştür.

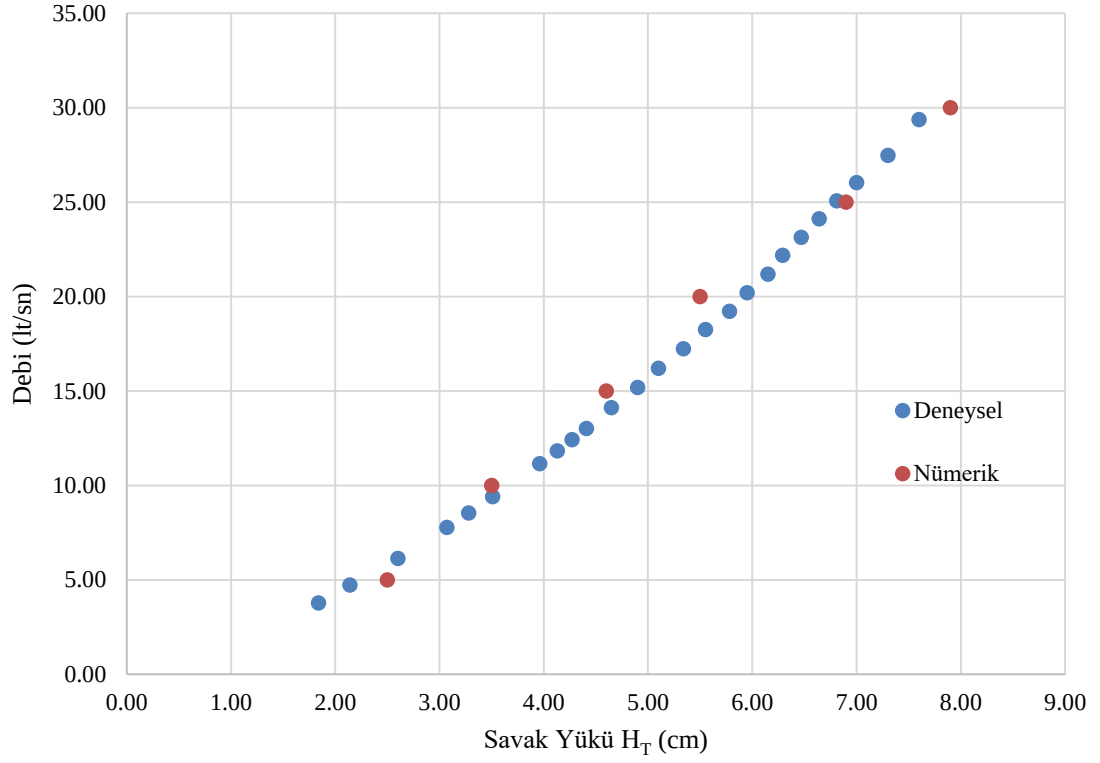


**Şekil 5.42.** Nümerik modelleri yapılan üçgen ve düz savakların analize başlangıcındaki görünüşleri

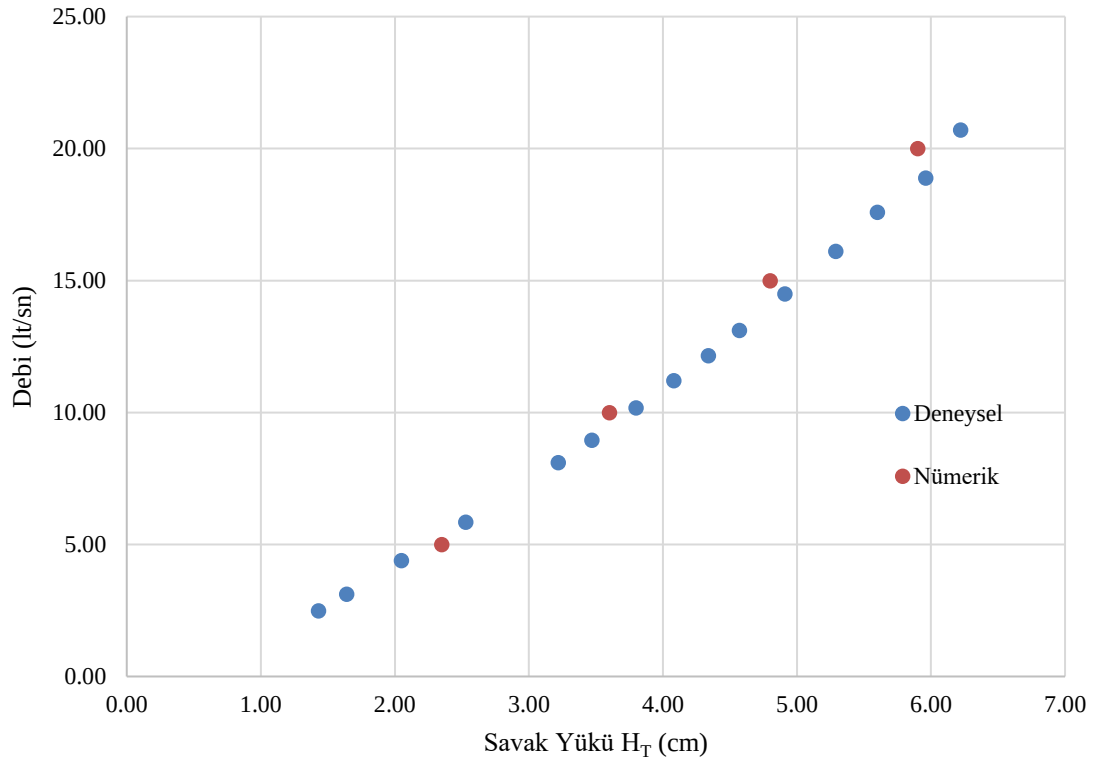
Aynı savak yüksekliğine ( $P$ ) ve aynı konfigürasyona sahip deneysel ve nümerik modellerden elde edilen savak yükleri ( $H_T$ ) ve debi değerleri ( $Q$ ) aynı grafik üzerinde gösterilerek karşılaştırılmıştır (Şekil 5.43-Şekil 5.54). Grafikler incelendiğinde nümerik modeller ve deneysel veriler arasında yüksek oranda tutarlılık görülmektedir.



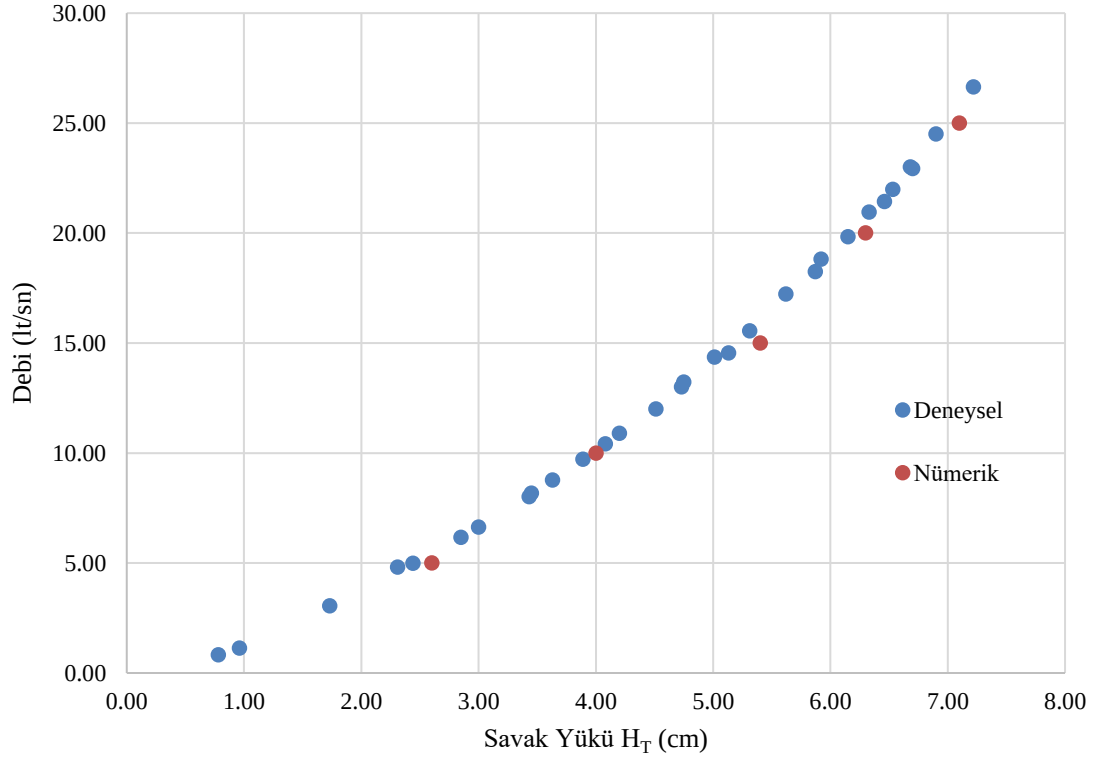
**Şekil 5.43.**  $P=20$  cm,  $N=2$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



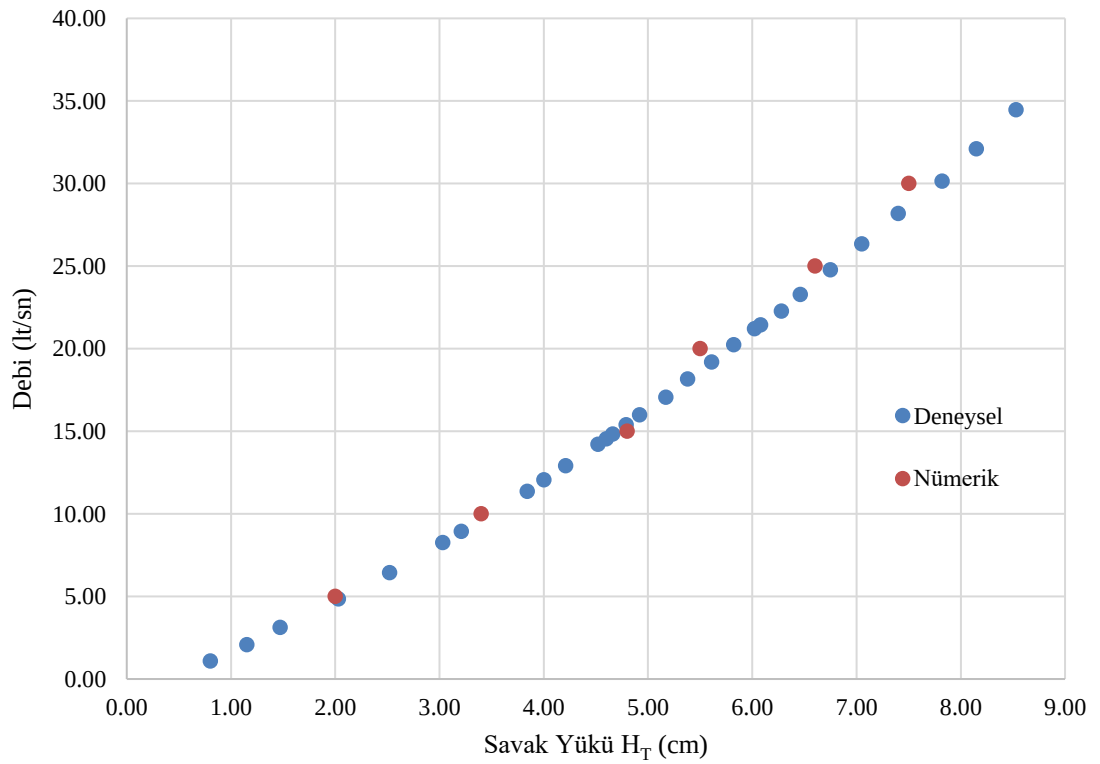
Şekil 5.44.  $P=20$  cm,  $N=3$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



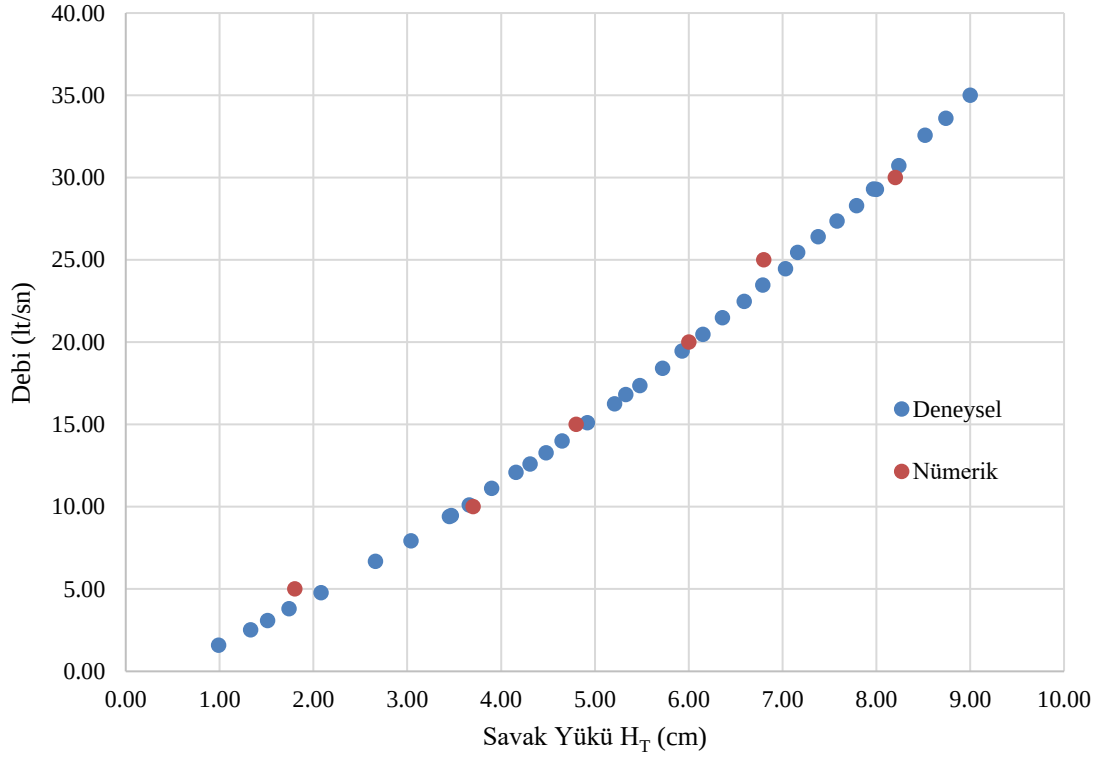
Şekil 5.45.  $P=20$  cm,  $N=4$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



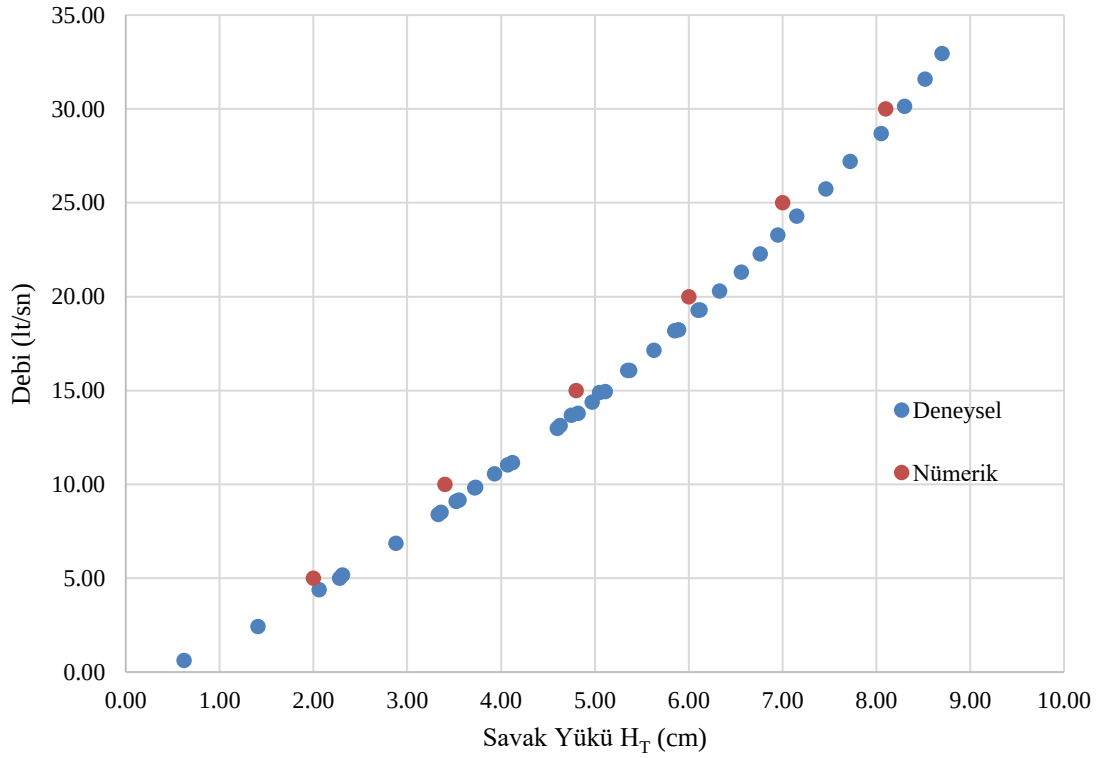
Şekil 5.46.  $P=20$  cm, düz savak için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



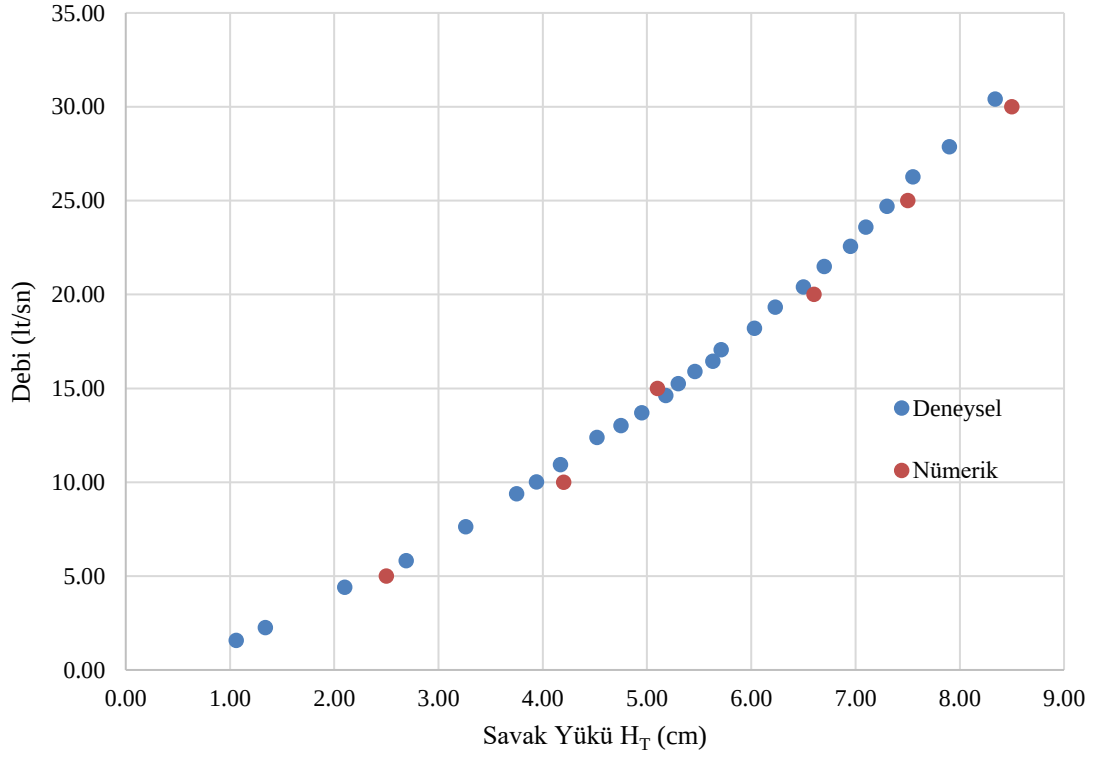
Şekil 5.47.  $P=30$  cm,  $N=2$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



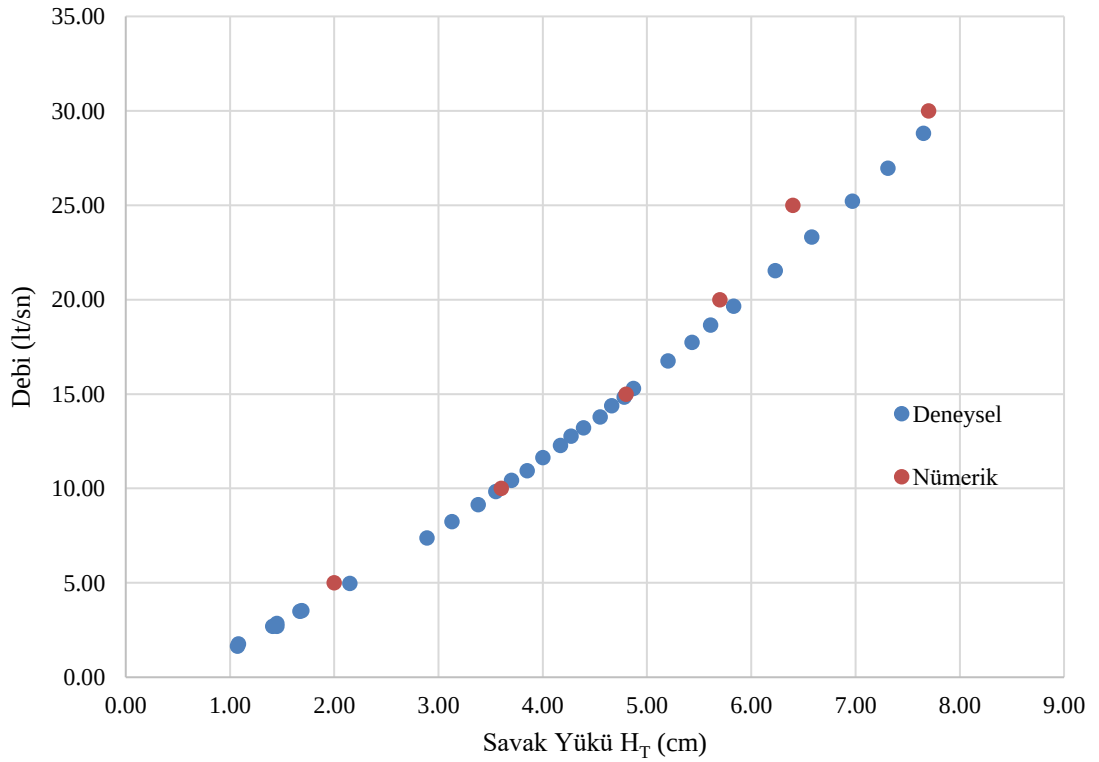
Şekil 5.48.  $P=30$  cm,  $N=3$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



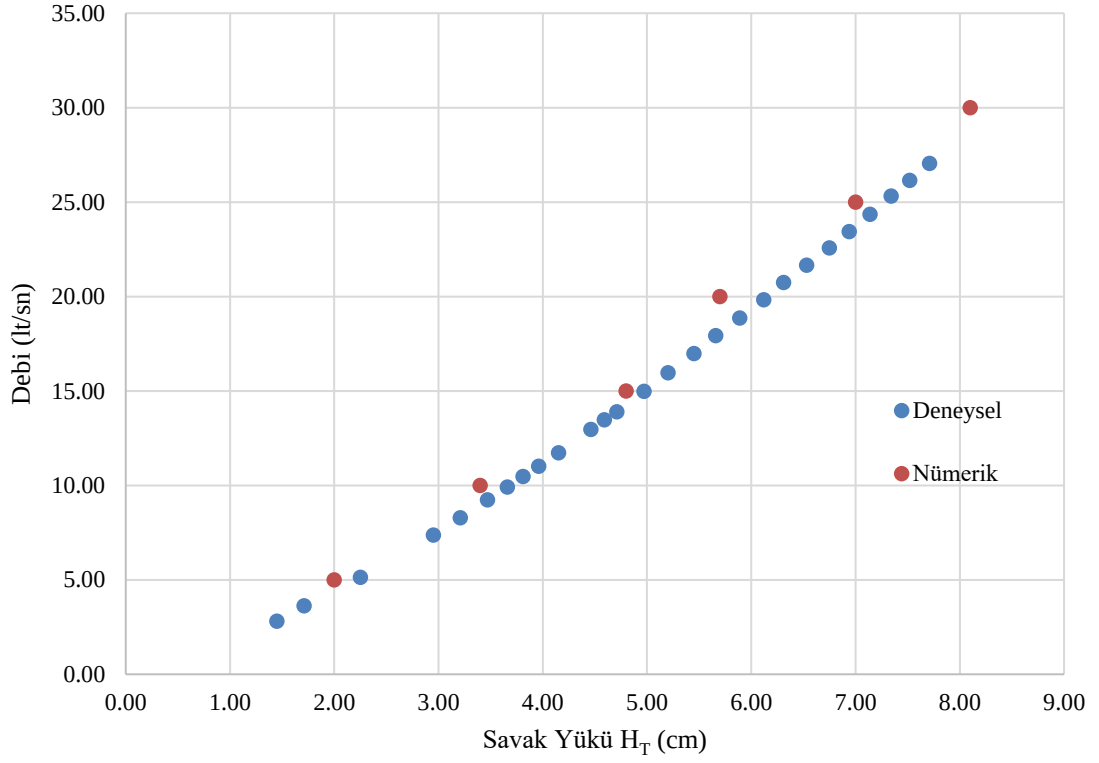
Şekil 5.49.  $P=20$  cm,  $N=4$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



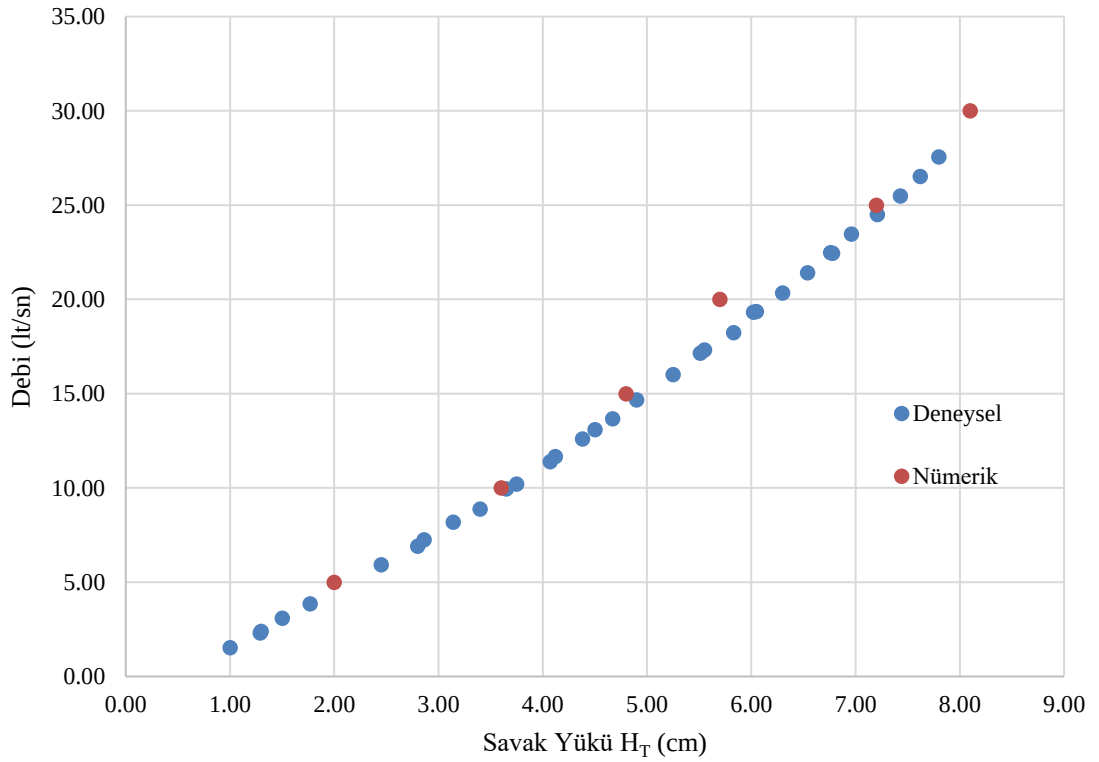
Şekil 5.50.  $P=30$  cm, düz savak için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



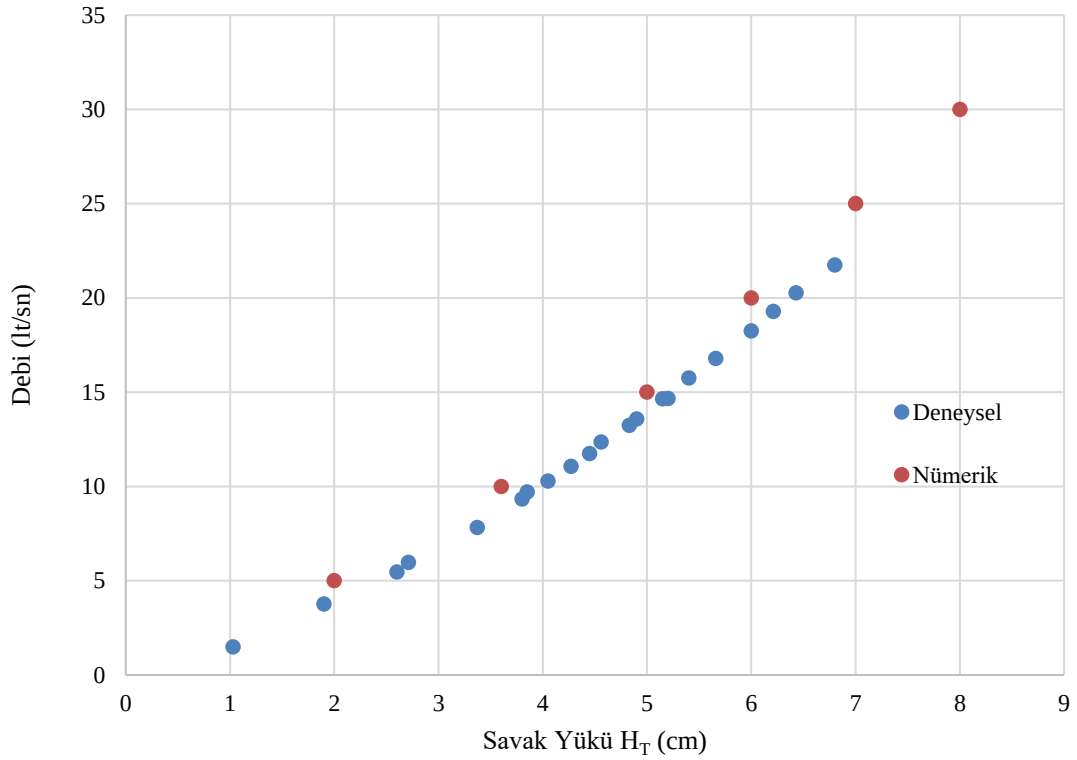
Şekil 5.51.  $P=40$  cm,  $N=2$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



Şekil 5.52.  $P=40$  cm,  $N=3$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

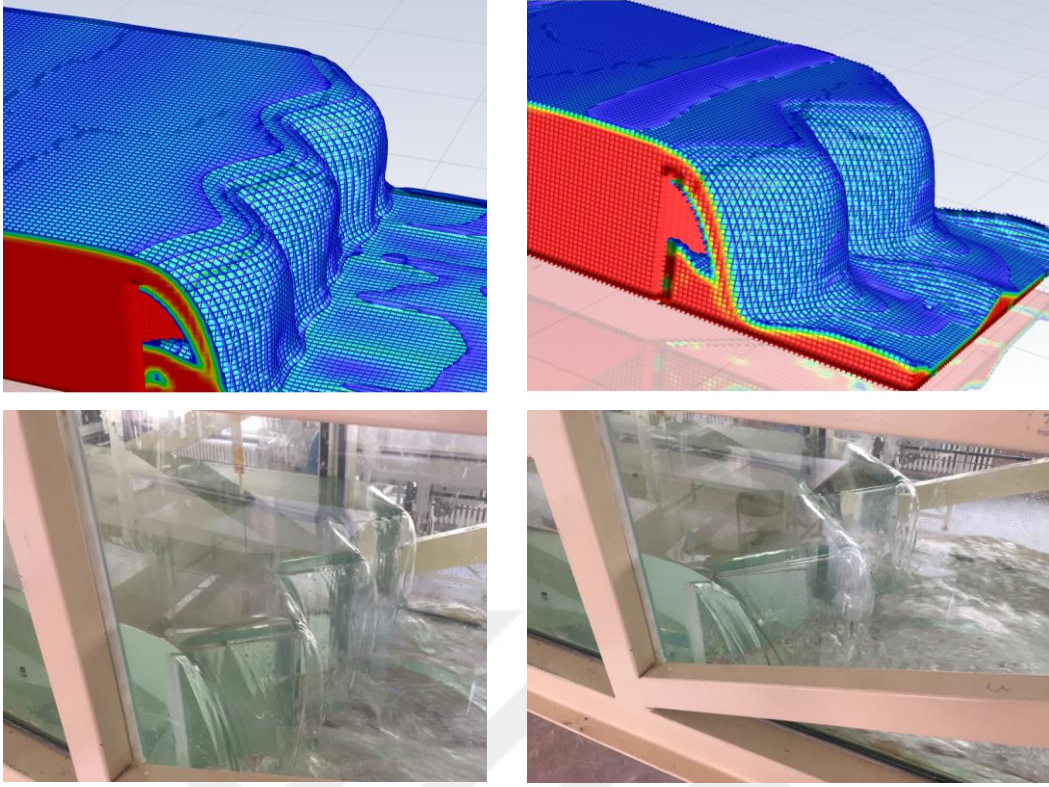


Şekil 5.53.  $P=40$  cm,  $N=4$  düz üçgen için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması



**Şekil 5.54.**  $P=40$  cm, düz savak için nümerik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Nümerik modelden elde edilen 3 boyutlu görüntüler deneyler ile karşılaştırıldığında, su yüzeyi profilleri ve akım özellikleri bakımından son derece benzer oldukları görülmektedir. Her iki modelde de su, savakların arkasında haznedeymiş gibi davranmakta ve savakların üzerinden benzer profile akmaktadırlar. Haznede herhangi bir dalgalanma ve çalkantı oluşmamaktadır. Bu da girilen “boundary condition”ın başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Su, savakların üzerinden serbest bir durumda akarken mansap tarafında akım yarı havalanmış durumdadır ve nap akımı belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 5.55). Şekil 4.60’da gösterildiği gibi labirent savağın mansap yüzeyinin kademeli olarak değiştirilmesi ile yarı havalanmış nap akımı başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Nümerik modelden elde edilen 3 boyutlu görüntüler ile deney resimlerinin karşılaştırılması aşağıda verilmiştir (Şekil 5.55).



Şekil 5.55. Üçgen savakların nümerik modellerinde ve deneylerinde gözlemlenen nap akımları

### 5.3. Üçgen ve Dairesel Savakların Karşılaştırılması

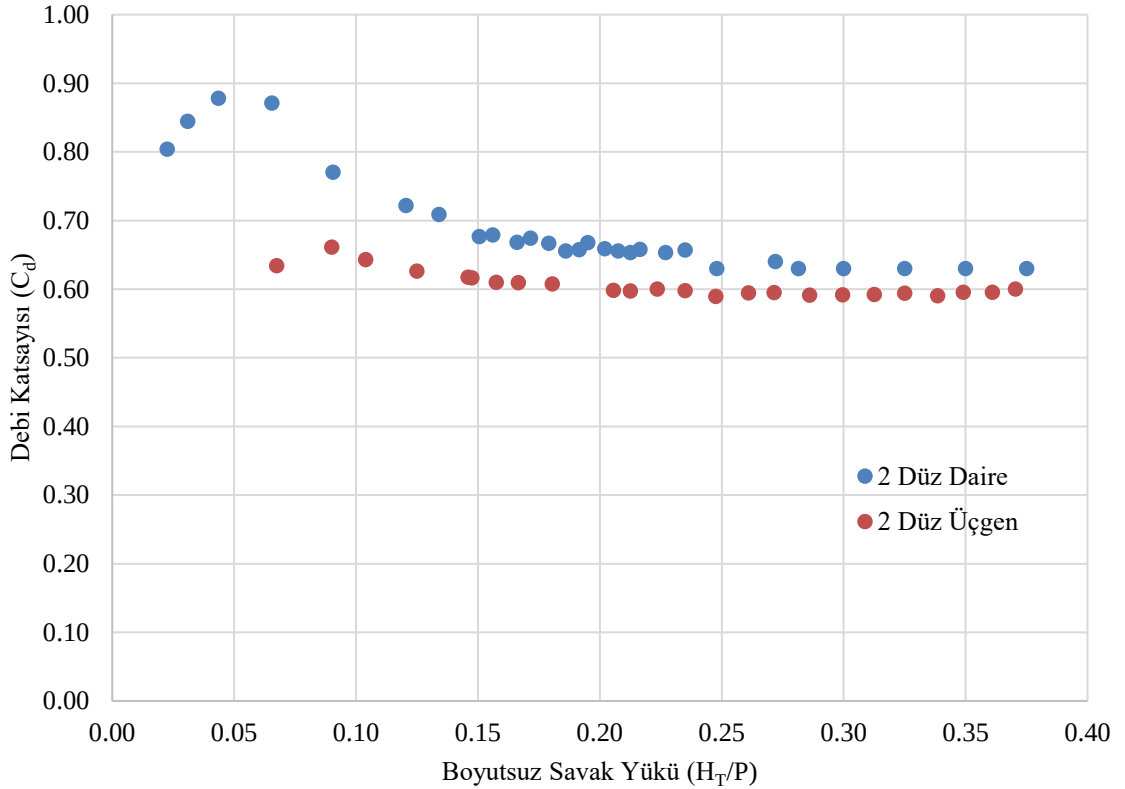
Üçgen ve daireseel savaklar üzerinde yapılan deneyler sonucunda, savak yükleri ( $H_T$ ) ve bu savak yüklerine karşılık gelen debi ( $Q$ ) değerleri elde edilmiştir. Üçgen savaklarda toplam kret uzunluğu  $L_{net}=84.84$  cm iken daireseel savaklarda toplam kret uzunluğu  $L_{net}=94.24$  cm olmaktadır. Net kret uzunluğu Denklem (5.1)'den de anlaşılacağı gibi aynı savak yükünde daha fazla debinin geçmesini sağlamaktadır. Dairesel savakların üçgen savaklara göre şekillerinden dolayı sağladıkları avantajları daha doğru bir şekilde analiz etmek için, üçgen ve daireseel savakların Denklem (5.2) yardımıyla debi katsayıları ( $C_d$ ) hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmanın yapılmasındaki amaç, tezin amacında da bahsedildiği gibi daireseel savakların nap akımlarının girişim oluşturduğu bölgeleri ortadan kaldırarak, daireseel kesitin debi-deşarj kapasitesini olumlu yönde etkileyip etkilemediğini kontrol etmektir. Ayrıca daireseel savaklar, üçgen savaklara göre aynı kanal genişliğinde daha uzun kret uzunluğu sağlayacağından debi-savak yükü karşılaştırılmasında daireseel savakların, üçgen savaklara göre aynı savak yükünde fazla debi geçirmeleri

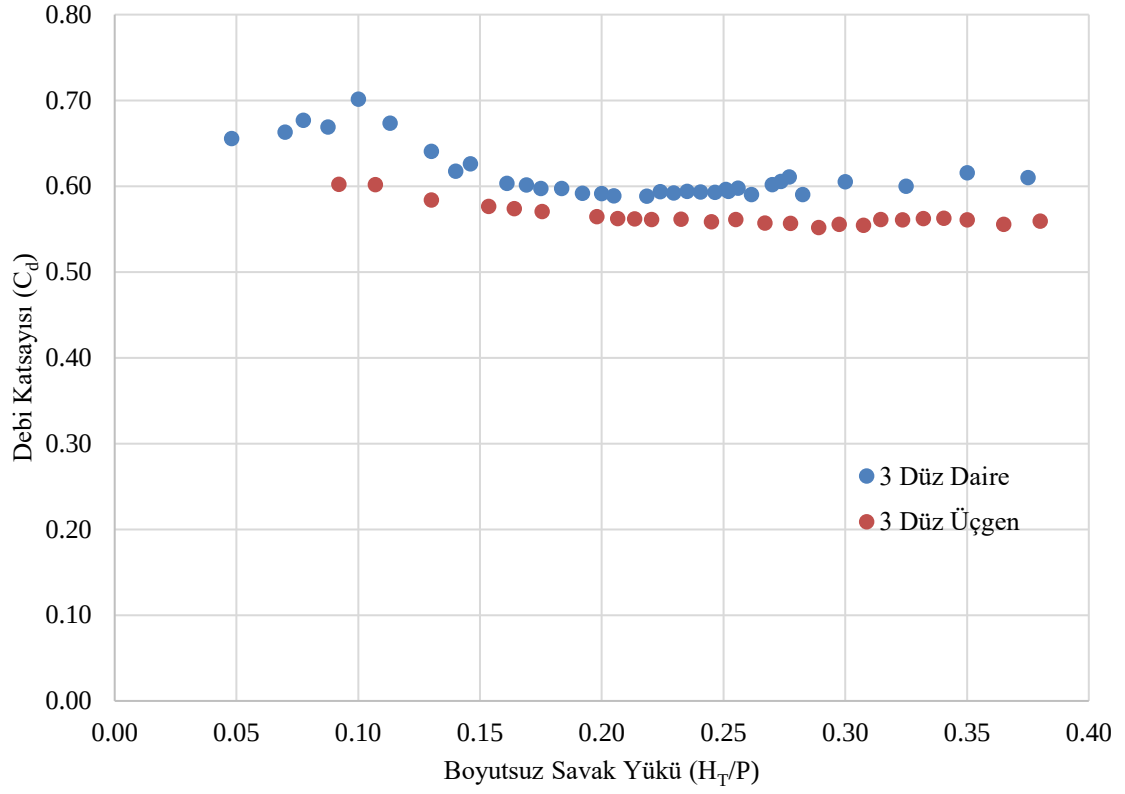
gerekmektedir. Dairesel savakların, üçgen savaklara göre performansını daha doğru bir şekilde değerlendirmek için debi katsayılarına ( $C_d$ ) bakmak daha doğru olacaktır.

Şekil 5.56 ve Şekil 5.64 arasında verilen savak katsayıları ( $C_d$ ) ve boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) grafikleri incelendiğinde, daireli kesitli labirent savakların üçgen savaklara göre daha yüksek debi katsayısına ( $C_d$ ) sahip olduğu görülmektedir. Böylelikle, daireli kesitli savakların üçgen savaklara göre aynı savak yükünde ( $H_T$ ) daha fazla debi ( $Q$ ) geçirmesinin, sadece net kret uzunluğunun ( $L_{net}$ ) fazla olmasından kaynaklanmadığı da görülmektedir.

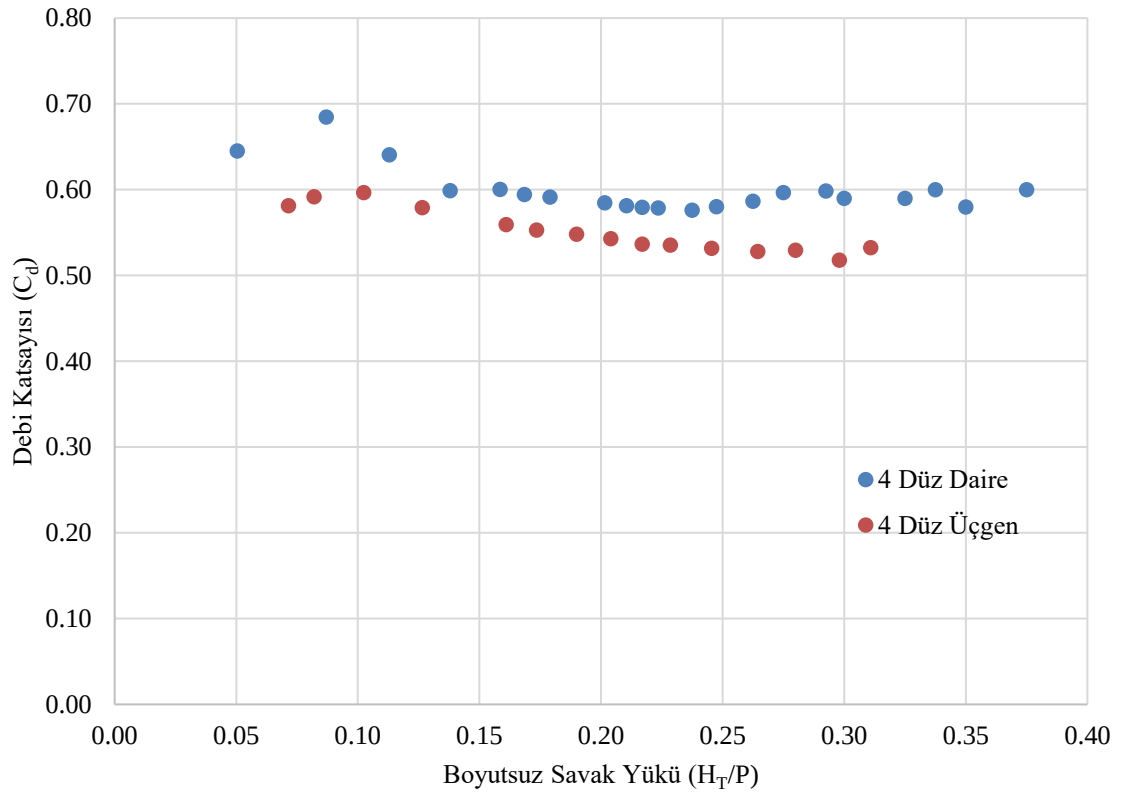
Savak katsayıları karşılaştırıldığında en belirgin fark  $N=2$  düz üçgen ve daire içeren savaklarda gözlenmiştir (Şekil 5.56). Bütün durumlarda daireli savaklar, üçgen savaklara göre daha yüksek debi katsayısı vermiştir. Bu da daireli savakların sadece net kret uzunluklarından dolayı daha fazla debi geçirmediğini, aynı zamanda şekillerinin de debi-deşarj kapasitesine olumlu etki yaptığını göstermektedir.



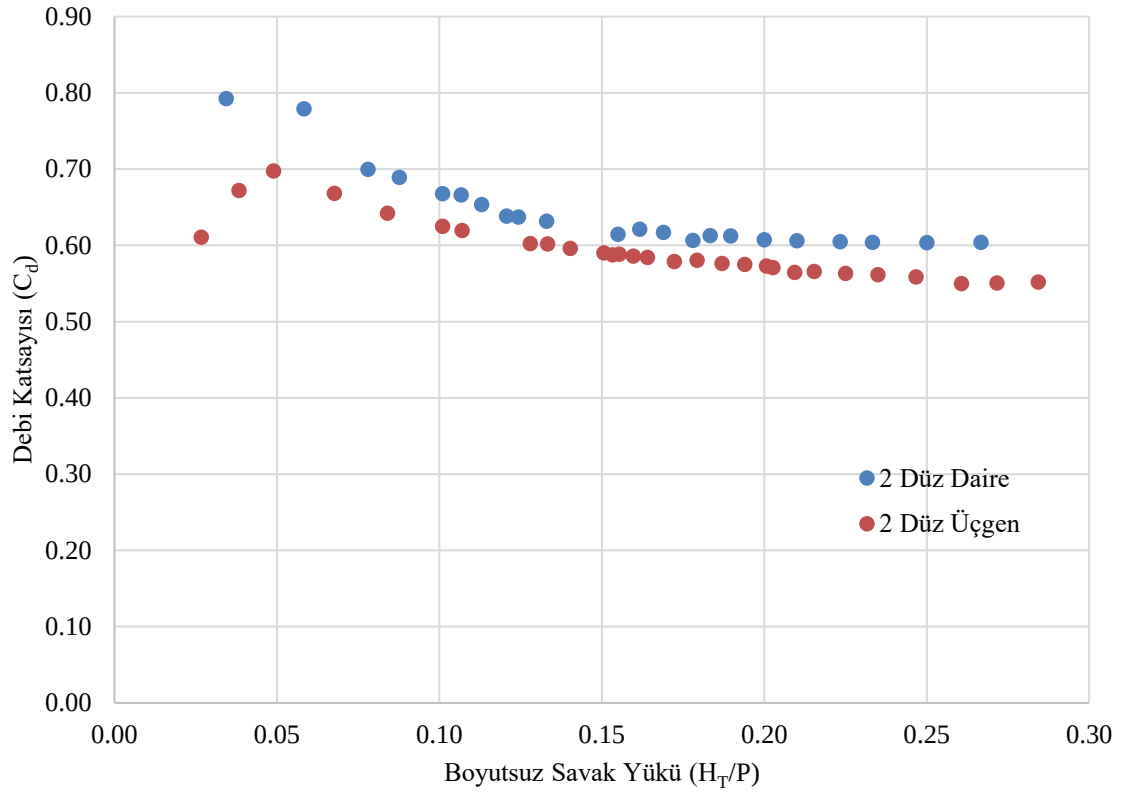
Şekil 5.56.  $P=20$  cm,  $N=2$  düz döngü içeren daireli ve üçgen savakların karşılaştırılması



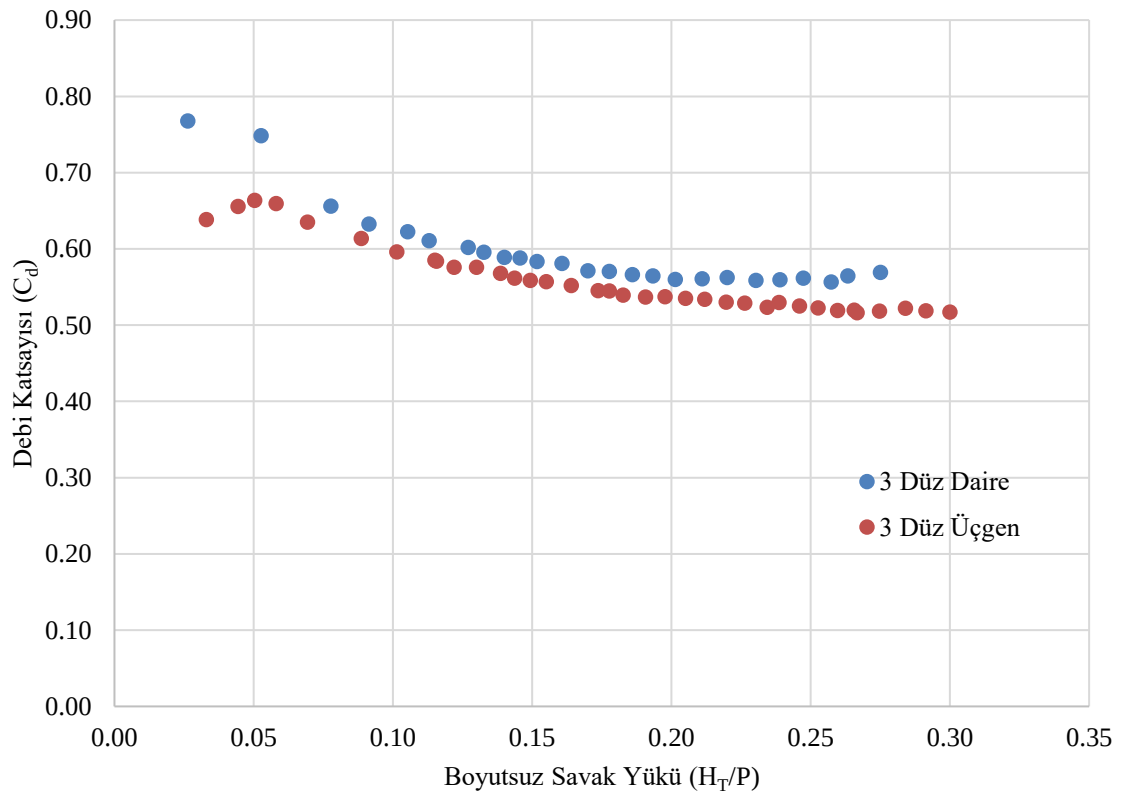
Şekil 5.57.  $P=20$  cm,  $N=3$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması



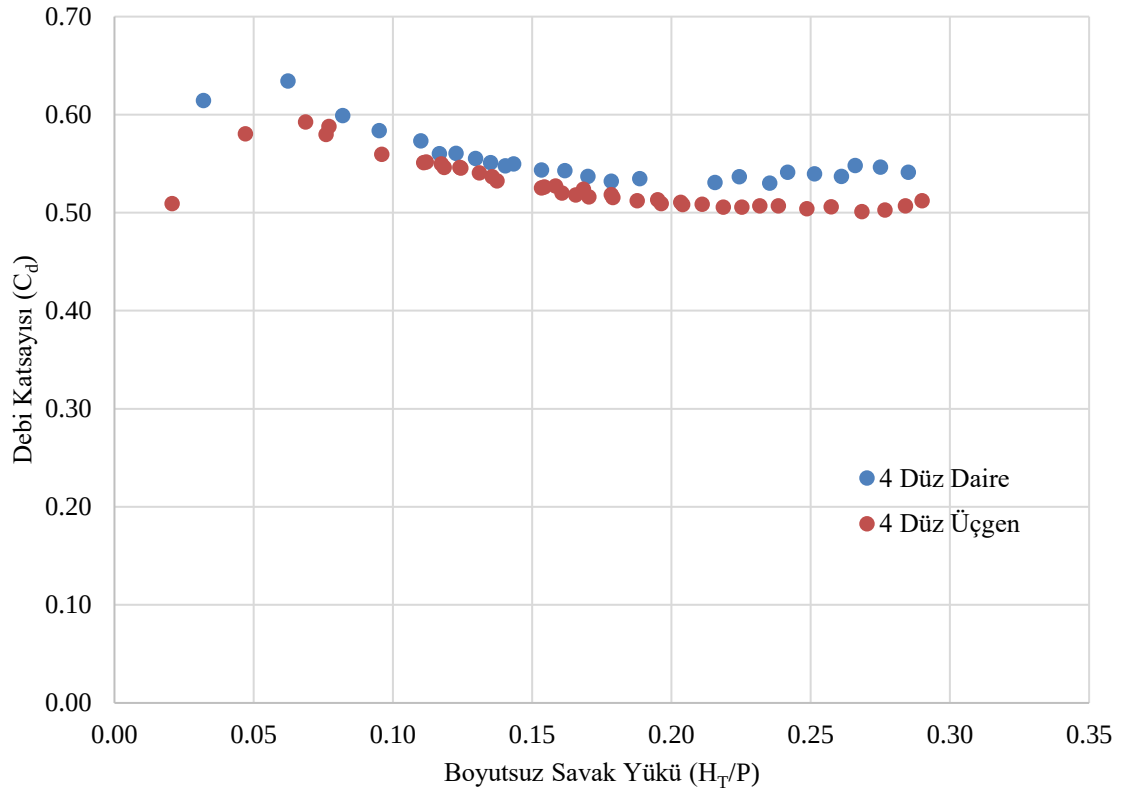
Şekil 5.58.  $P=20$  cm,  $N=4$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması



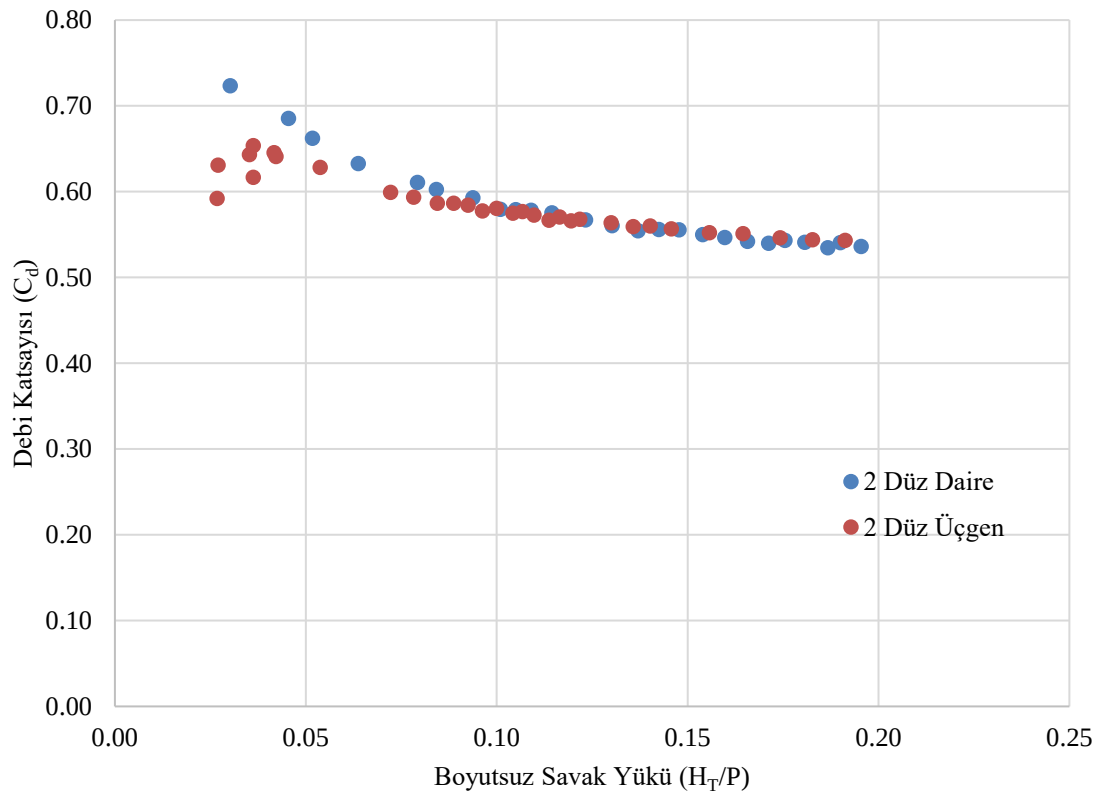
Şekil 5.59.  $P=30$  cm,  $N=2$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması



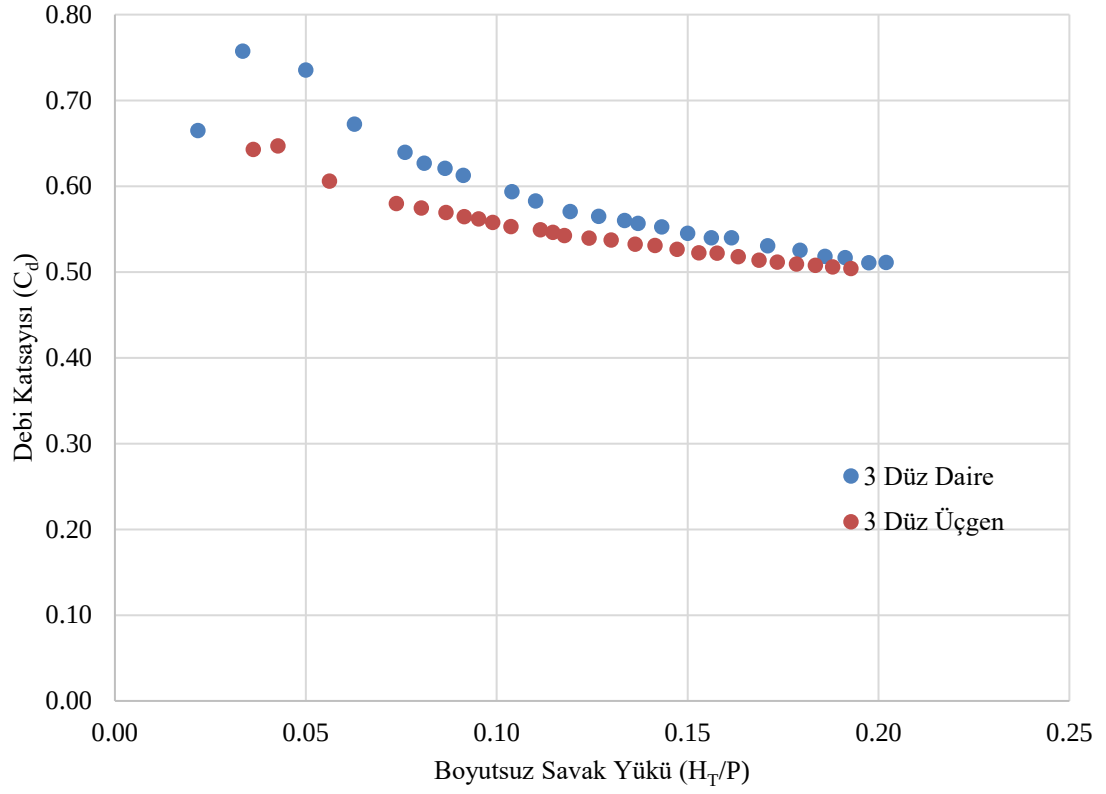
Şekil 5.60.  $P=30$  cm,  $N=3$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması



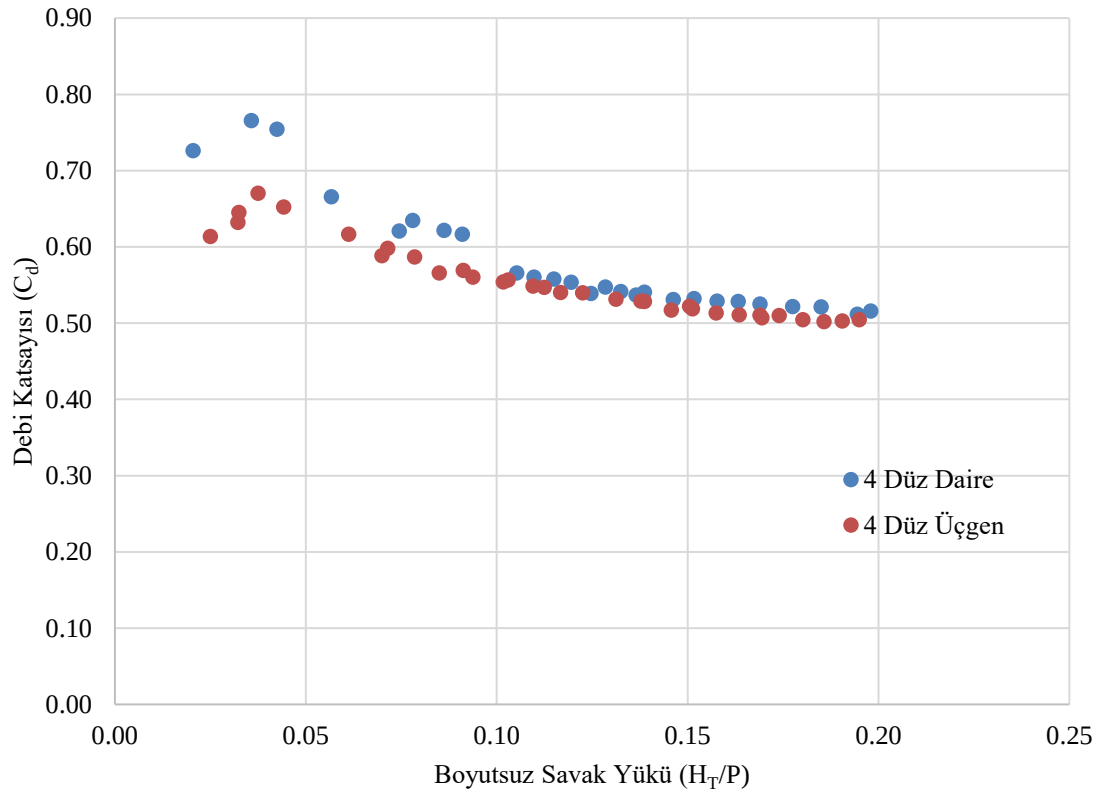
Şekil 5.61.  $P=30$  cm,  $N=4$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması



Şekil 5.62.  $P=40$  cm,  $N=2$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması

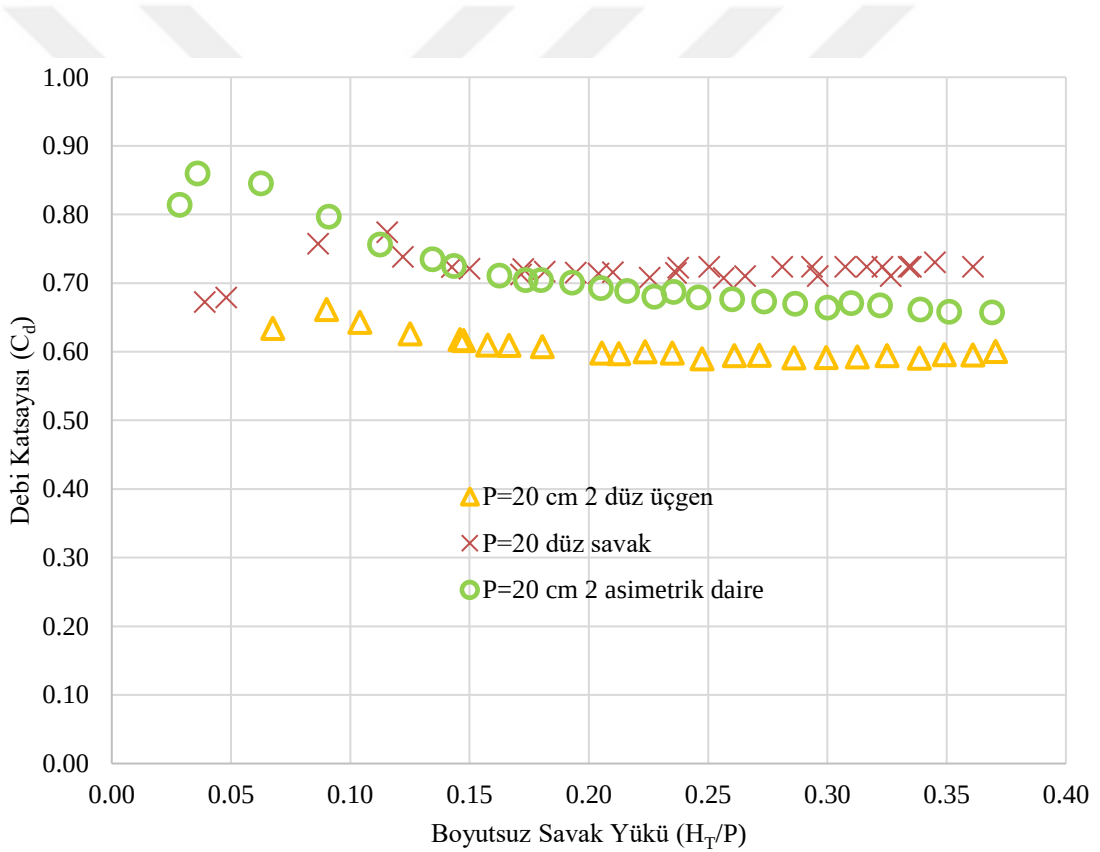


Şekil 5.63.  $P=40$  cm,  $N=3$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması



Şekil 5.64.  $P=40$  cm,  $N=4$  düz döngü içeren dairesel ve üçgen savakların karşılaştırılması

Dairesel labirent, üçgen labirent ve düz savaklardan elde edilen bütün veriler incelendiğinde; dairesele labirent savaklarda en yüksek debi katsayıları bütün savak yükseklikleri için asimetrik savaklarda elde edilmiştir. Üçgen labirent savaklarda ise en yüksek debi katsayıları  $N=2$  adet döngü içeren düz konfigürasyondaki savaklardan elde edilmiştir. Düz savaklarda ise akım direk olarak savaklara karşıdan geldiği ve savaktan döküldükten sonra nap akımı girişi oluşturmadığı için, dairesele ve üçgen labirent savaklara göre yüksek debi katsayıları vermektedir. Kendi şekilleri içinde en verimli, 3 farklı türdeki savaktan elde edilen debi katsayıları aşağıdaki Şekil 5.65'te gösterilmiştir. Bu karşılaştırmada;  $P=20$  cm savak yüksekliğine sahip,  $N=2$  döngü içeren asimetrik konfigürasyondaki dairesele labirent savak,  $P=20$  cm  $N=2$  adet döngü içeren düz konfigürasyondaki üçgen savak ve  $P=20$  cm yüksekliğinde düz savak kullanılmıştır.



Şekil 5.65. Farklı türdeki savakların debi katsayısı ( $C_d$ ) ve boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) karşılaştırması

Şekil 5.65 incelendiğinde, düz savağın en yüksek debi katsayılarını verdiği görülmektedir. Asimetrik konfigürasyondaki dairesele savak, düz savağa oldukça yakın debi katsayıları sonucu vermiştir. Dairesel labirent savaktan elde edilen debi katsayılarının, düz savağınkilere yakın çıkması, hidrolik açıdan verimli olduğunu göstermektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında dairesel kesitli labirent savaklar hidrolik açıdan test edilmiş ve bunların düz ve üçgen kesitli labirent savaklara karşı avantajları hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılmıştır. Dairesel kesit ile üçgen formdaki duvarların kesişim noktaları azaltılmıştır. Üçgen kesitli labirent savaklarda bu kesişim bölgelerinde nap akımları girişim oluşturarak debiyi olumsuz yönde etkilemektedir. Tasarlanan dairesel savaklar ile bu kesişim bölgeleri azaltılarak nap akımlarının girişimleri sonucunda olumsuz etkilenen debi performansı artırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca, tasarlanan dairesel savakların hidrolik karakteristiklerini doğru bir şekilde belirlemek için yarım daire döngüleri ile farklı konfigürasyonlar oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonlar, akım yönüne ve yarım dairelerin eğriliklerine göre kanala yerleştirilmelerine bağlı olarak “düz”, “ters” ve “asimetrik” olarak adlandırılmışlardır. Üçgen ve dairesel savaklar üzerinde yapılan deneylerden debi ( $Q$ ) - ( $H_T$ ) eğrileri elde edilmiştir. Savakların performansını net kret uzunluğundan ( $L_{net}$ ) bağımsız olarak hesaplamak için savak katsayıları ( $C_d$ ) hesaplanarak debi katsayısı ( $C_d$ ) – boyutsuz savak yükü ( $H_T/P$ ) eğrileri elde edilerek savakların performansı savak yüksekliğinden bağımsız olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1- Üçgen savaklarda kullanılan üçgen döngü ( $N$ ) sayısı arttıkça debi-deşarj performansı ve debi katsayısı ( $C_d$ ) azalmaktadır.

2- Üçgen savaklarda aynı savak yükünde ( $H_T$ ), farklı konfigürasyonlarda savakların debi performansı  $Q_{2 \text{ Düz Üçgen}} > Q_{3 \text{ Düz Üçgen}} > Q_{4 \text{ Düz Üçgen}} > Q_{\text{düz}}$  şeklinde olmaktadır. Buna bağlı olarak savak katsayıları arasındaki sıralama  $C_{d \text{ Düz}} > C_{d \text{ 2 üçgen}} > C_{d \text{ 3 üçgen}} > C_{d \text{ 4 üçgen}}$  şeklindedir.

3- Üçgen savaklarda savak yüksekliği ( $P$ ) arttıkça  $N=3$  düz ve  $N=4$  düz döngü sayısına sahip savakların savak katsayıları ( $C_d$ ) birbirine yaklaşmaktadır.

4- Dairesel savaklarda kullanılan yarım daire döngü sayısı ( $N$ ) arttıkça, debi-deşarj performansı ve debi katsayısı ( $C_d$ ) azalmaktadır.

5- Dairesel savaklarda aynı savak yükünde ( $H_T$ ), farklı konfigürasyonlarda savakların debi performansı  $Q_{\text{Asimetrik}} > Q_{\text{Düz}} > Q_{\text{Ters}}$  şeklinde olmaktadır. Buna bağlı olarak savak katsayılarının sıralaması  $C_{d\text{-Asimetrik}} > C_{d\text{-Düz}} > C_{d\text{-Ters}}$  şeklindedir.

6- Dairesel savaklarda savak yüksekliği arttıkça,  $N=3$  ve  $N=4$  yarım daire içeren ters ve düz konfigürasyona sahip savakların, savak katsayıları ( $C_d$ ) birbirine yaklaşmaktadır.

Deneyleri yapılan üçgen ve dairesel savakların nümerik modelleri oluşturulmuştur. Elde edilen nümerik model sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmış, nümerik modellere girilen debi ( $Q$ ) değerleri sonucunda elde edilen savak yükleri ( $H_T$ ) deneysel veriler ile tutarlı çıkmıştır.

Bu çalışmada tasarımı yapılan dairesel savakların ileriki çalışmalarda performansını geliştirmek için yarım dairelerin birleşimlerine apeks eklenerek debi performansı artırılabilir.



## KAYNAKLAR

- Amanian, N. (1987), “Performance and design of labyrinth spillway”, Doktora tezi, *Utah State University*, Logan, Utah, USA.
- Bilhan, O., Aydin, M. C., Emiroglu, M. E., Miller, C. J., 2018, Experimental and CFD analysis of circular labyrinth weirs, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(6), 1-11.
- Bilhan, O., Emiroglu, M. E., Miller, C. J., Bilhan, O., Emiroglu, M. E., Miller, C. J., 2016, Experimental investigation of discharge capacity of labyrinth weirs with and without nappe breakers, *World Journal of Mechanics*, 6(7), 207–221.
- Boileau, P., 1854, *Traite de la mesure des eaux courantes*, Mallet-Bachelier, Prag.
- Brinker, D. J., 2005, Boyd Lake spillway –an innovative approach to using a labyrinth weir, *Proc. of the 2005 Dam Safety Conference*, New Orleans.
- Crookston, B. M. (2010), “Labyrinth weirs” Doktora tezi, *Utah State University*, Logan, Utah, USA.
- Darvas, L., 1971, Discussion of performance and design of labyrinth weirs, by Hay and Taylor, *Journal of Hydraulic Engineering*, 97(80), 1246–1251.
- Emiroglu, M. E., Kaya, N., Agaccioglu, H., 2009, Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(1), 37–46.
- Escande, L. ve Sabathé, G., 1937, Inclined weir relative to the channel axis, *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences*, 204, 1547–1549.
- Falvey, H. T., 2002, Hydraulic design of labyrinth weirs, *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, Reston, Virginia, USA.
- Gentilini, B., 1940, Stramazzi con cresta a pianta obli-qua e zigzag, *Memorie e Studi del Regio Politecnico di Milano*, 48, 1–12.
- Hay, N. ve Taylor, G., 1970, Performance and design of labyrinth weirs, *Journal of the Hydraulics Division*, 96(11), 2337–2357.
- Hinchliff, D. ve Houston, K., 1984, Hydraulic design and application of labyrinth spillways, *Proceedings of 4th Annual USCOLD Lecture*, Washington DC, USA.
- Horton, R. E., 1907, Weir experiments, coefficients, and formulas, *Government printing office*, Washington, USA.
- Houston, K. 1983, Hydraulic model study of Hyrum dam auxiliary labyrinth spillway, *U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation*, Denver, Colorado, USA.

- ICOLD, 1995, Dam failures statistical analysis, *International Commision of Large Dams (ICOLD)* 99.
- Indlekofer, H. ve Rouve, G., 1975, Discharge over polygonal weirs, *ASCE Journal of Hydraulic Division*, 101(3), 385–401.
- Istomina, V. S., 1937, Oblique weirs with sharp and broad crests, *L'Energia Elettrica*, 14(2).
- Kozák, M. ve Sváb, J., 1961, Tört alaprajzú bukók laboratóriumi vizsgálatatle, *Hidrológiai Közlöny*, 5, 376–382.
- Lux, F., 1989, Design and application of labyrinth weirs, *Design of Hydraulic Structures* 89. Colorado, 199-205.
- Magalhaes, A. ve Lorena, M., 1989, Hydraulic design of labyrinth weirs, *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, Reston, Virginia, USA.
- Matthew, G. D. (1963). On the influence of curvature, surface tension and viscosity on flow over round-crested weirs, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 25(4), 511–524.
- Mayer, P., 1980, Bartletts Ferry project, labyrinth weir model studies, *Georgia Institute of Technology E-20-610*, Atlanta, USA.
- Taylor, G. (1968), “The performance of labyrinth weirs”, Doktora Tezi, *University of Nottingham*, Nottingham, UK.
- Tingey, S. E. (2011), “Discharge Coefficients of Oblique Weirs”, Doktora tezi, *Utah State University*, Logan, Utah, USA.
- Tison, G. ve Fransel, T., 1963, Experiments on weir of polygonal plan shape, *Revue C Tijdschrift*, 3(3), 38–51.
- Tullis, J. P., Amanian, N., Waldron, D., 1995, Design of labyrinth spillways, *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(3), 247-255.
- Waldron, D. (1994). “Design of labyrinth spillways”. Doktora tezi, *Utah State University*, Logan, Utah, USA.
- Willmore, C. M. (2004). “Hydraulic Characteristics of Labyrinth Weirs”, Doktora tezi, *Utah State University*, Logan, Utah, USA.
- Wormleaton, P. R. ve Tsang, C. C., 2000, Aeration performance of rectangular planform labyrinth weirs, *Journal of Environmental Engineering*, 126(5), 456-465.

**EKLER**

**EK- 1** P=20 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 1)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 0.45                | 0.68      | 0.80           | 0.02              |
| 2        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 0.62                | 1.15      | 0.84           | 0.03              |
| 3        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 0.87                | 1.98      | 0.88           | 0.04              |
| 4        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 1.31                | 3.63      | 0.87           | 0.07              |
| 5        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 1.81                | 5.22      | 0.77           | 0.09              |
| 6        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 2.41                | 7.51      | 0.72           | 0.12              |
| 7        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 2.68                | 8.65      | 0.71           | 0.13              |
| 8        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.01                | 9.83      | 0.68           | 0.15              |
| 9        | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.12                | 10.41     | 0.68           | 0.16              |
| 10       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.32                | 11.25     | 0.67           | 0.17              |
| 11       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.43                | 11.92     | 0.67           | 0.17              |
| 12       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.58                | 12.56     | 0.67           | 0.18              |
| 13       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.72                | 13.09     | 0.66           | 0.19              |
| 14       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.83                | 13.71     | 0.66           | 0.19              |
| 15       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 3.90                | 14.31     | 0.67           | 0.20              |
| 16       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 4.04                | 14.89     | 0.66           | 0.20              |
| 17       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 4.15                | 15.43     | 0.66           | 0.21              |
| 18       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 4.25                | 15.93     | 0.65           | 0.21              |
| 19       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 4.33                | 16.50     | 0.66           | 0.22              |
| 20       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 4.54                | 17.58     | 0.65           | 0.23              |
| 21       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 4.70                | 18.62     | 0.66           | 0.24              |
| 22       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 4.96                | 19.37     | 0.65           | 0.25              |
| 23       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 5.44                | 22.60     | 0.66           | 0.27              |
| 24       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 5.63                | 23.42     | 0.66           | 0.28              |
| 25       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 6.00                | 25.77     | 0.66           | 0.30              |
| 26       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 6.50                | 29.05     | 0.66           | 0.33              |
| 27       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 7.00                | 32.47     | 0.66           | 0.35              |
| 28       | Daire | 20     | 2        | Düz   | 7.50                | 36.01     | 0.66           | 0.38              |

**EK- 2** P=20 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 2)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 0.96                | 1.72      | 0.66           | 0.05              |
| 2        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 1.40                | 3.06      | 0.66           | 0.07              |
| 3        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 1.55                | 3.63      | 0.68           | 0.08              |
| 4        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 1.75                | 4.31      | 0.67           | 0.09              |
| 5        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 2.00                | 5.52      | 0.70           | 0.10              |
| 6        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 2.26                | 6.37      | 0.67           | 0.11              |
| 7        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 2.60                | 7.47      | 0.64           | 0.13              |
| 8        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 2.80                | 8.05      | 0.62           | 0.14              |
| 9        | Daire | 20     | 3        | Düz   | 2.92                | 8.69      | 0.63           | 0.15              |
| 10       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 3.22                | 9.70      | 0.60           | 0.16              |
| 11       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 3.38                | 10.40     | 0.60           | 0.17              |
| 12       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 3.50                | 10.88     | 0.60           | 0.18              |
| 13       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 3.67                | 11.69     | 0.60           | 0.18              |
| 14       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 3.84                | 12.39     | 0.59           | 0.19              |
| 15       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.00                | 13.16     | 0.59           | 0.20              |
| 16       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.10                | 13.60     | 0.59           | 0.21              |
| 17       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.37                | 14.95     | 0.59           | 0.22              |
| 18       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.48                | 15.66     | 0.59           | 0.22              |
| 19       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.59                | 16.20     | 0.59           | 0.23              |
| 20       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.70                | 16.84     | 0.59           | 0.24              |
| 21       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.81                | 17.41     | 0.59           | 0.24              |
| 22       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 4.93                | 18.05     | 0.59           | 0.25              |
| 23       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.02                | 18.65     | 0.60           | 0.25              |
| 24       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.04                | 18.70     | 0.59           | 0.25              |
| 25       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.12                | 19.26     | 0.60           | 0.26              |
| 26       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.23                | 19.64     | 0.60           | 0.26              |
| 27       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.40                | 21.01     | 0.60           | 0.27              |
| 28       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.47                | 21.56     | 0.61           | 0.27              |
| 29       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.54                | 22.16     | 0.61           | 0.28              |
| 30       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 5.65                | 22.50     | 0.61           | 0.28              |
| 31       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 6.00                | 24.75     | 0.61           | 0.30              |
| 32       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 6.50                | 27.67     | 0.61           | 0.33              |
| 33       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 7.00                | 31.73     | 0.62           | 0.35              |
| 34       | Daire | 20     | 3        | Düz   | 7.50                | 34.87     | 0.62           | 0.38              |

**EK- 3** P=20 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 3)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 1.01                | 1.82      | 0.65           | 0.05              |
| 2        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 1.74                | 4.37      | 0.68           | 0.09              |
| 3        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 2.26                | 6.06      | 0.64           | 0.11              |
| 4        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 2.76                | 7.64      | 0.60           | 0.14              |
| 5        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 3.17                | 9.43      | 0.60           | 0.16              |
| 6        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 3.37                | 10.24     | 0.59           | 0.17              |
| 7        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 3.58                | 11.15     | 0.59           | 0.18              |
| 8        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 4.03                | 13.16     | 0.58           | 0.20              |
| 9        | Daire | 20     | 4        | Düz   | 4.21                | 13.98     | 0.58           | 0.21              |
| 10       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 4.34                | 14.58     | 0.58           | 0.22              |
| 11       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 4.47                | 15.22     | 0.58           | 0.22              |
| 12       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 4.75                | 16.61     | 0.58           | 0.24              |
| 13       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 4.95                | 17.79     | 0.58           | 0.25              |
| 14       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 5.25                | 19.64     | 0.59           | 0.26              |
| 15       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 5.50                | 21.42     | 0.60           | 0.28              |
| 16       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 5.85                | 23.56     | 0.60           | 0.29              |
| 17       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 6.00                | 24.13     | 0.62           | 0.30              |
| 18       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 6.50                | 27.21     | 0.61           | 0.33              |
| 19       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 6.75                | 29.28     | 0.62           | 0.34              |
| 20       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 7.00                | 29.89     | 0.62           | 0.35              |
| 21       | Daire | 20     | 4        | Düz   | 7.50                | 34.30     | 0.63           | 0.38              |

**EK- 4** P=20 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 4)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 1.07                | 2.39      | 0.78           | 0.05              |
| 2        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 1.71                | 4.55      | 0.73           | 0.09              |
| 3        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 2.16                | 6.02      | 0.68           | 0.11              |
| 4        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 2.60                | 7.58      | 0.65           | 0.13              |
| 5        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 3.06                | 9.43      | 0.63           | 0.15              |
| 6        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 3.26                | 10.24     | 0.63           | 0.16              |
| 7        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 3.43                | 11.01     | 0.62           | 0.17              |
| 8        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 3.73                | 12.33     | 0.61           | 0.19              |
| 9        | Daire | 20     | 2        | Ters  | 4.09                | 13.87     | 0.60           | 0.20              |
| 10       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 4.24                | 14.65     | 0.60           | 0.21              |
| 11       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 4.38                | 15.32     | 0.60           | 0.22              |
| 12       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 4.52                | 15.96     | 0.60           | 0.23              |
| 13       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 4.65                | 16.61     | 0.60           | 0.23              |
| 14       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 4.95                | 17.96     | 0.59           | 0.25              |
| 15       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 5.13                | 19.03     | 0.59           | 0.26              |
| 16       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 5.36                | 20.18     | 0.58           | 0.27              |
| 17       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 5.56                | 21.35     | 0.59           | 0.28              |
| 18       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 5.80                | 22.53     | 0.58           | 0.29              |
| 19       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 6.05                | 23.71     | 0.57           | 0.30              |
| 20       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 6.20                | 24.79     | 0.58           | 0.31              |
| 21       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 6.41                | 25.93     | 0.57           | 0.32              |
| 22       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 6.70                | 27.58     | 0.57           | 0.34              |
| 23       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 7.00                | 29.27     | 0.57           | 0.35              |
| 24       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 7.25                | 30.85     | 0.57           | 0.36              |
| 25       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 7.51                | 32.54     | 0.57           | 0.38              |
| 26       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 7.85                | 34.72     | 0.57           | 0.39              |
| 27       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 8.22                | 36.88     | 0.56           | 0.41              |
| 28       | Daire | 20     | 2        | Ters  | 8.50                | 39.00     | 0.57           | 0.43              |

**EK- 5** P=20 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 5)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 0.89                | 1.51      | 0.65           | 0.04              |
| 2        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 1.12                | 2.15      | 0.65           | 0.06              |
| 3        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 1.75                | 4.31      | 0.67           | 0.09              |
| 4        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 2.34                | 6.20      | 0.62           | 0.12              |
| 5        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 2.78                | 7.75      | 0.60           | 0.14              |
| 6        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 3.27                | 9.53      | 0.58           | 0.16              |
| 7        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 3.48                | 10.33     | 0.57           | 0.17              |
| 8        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 3.86                | 11.92     | 0.56           | 0.19              |
| 9        | Daire | 20     | 3        | Ters  | 4.07                | 12.80     | 0.56           | 0.20              |
| 10       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 4.32                | 13.84     | 0.55           | 0.22              |
| 11       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 4.49                | 14.58     | 0.55           | 0.22              |
| 12       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 4.64                | 15.29     | 0.55           | 0.23              |
| 13       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 4.91                | 16.61     | 0.55           | 0.25              |
| 14       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 5.17                | 17.85     | 0.55           | 0.26              |
| 15       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 5.43                | 19.06     | 0.54           | 0.27              |
| 16       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 5.67                | 20.21     | 0.54           | 0.28              |
| 17       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 6.02                | 21.92     | 0.53           | 0.30              |
| 18       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 6.34                | 23.61     | 0.53           | 0.32              |
| 19       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 6.67                | 25.32     | 0.53           | 0.33              |
| 20       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 6.95                | 27.02     | 0.53           | 0.35              |
| 21       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 7.54                | 30.31     | 0.53           | 0.38              |
| 22       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 8.10                | 33.61     | 0.52           | 0.41              |
| 23       | Daire | 20     | 3        | Ters  | 8.62                | 36.88     | 0.52           | 0.43              |

**EK- 6** P=20 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 6)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 0.43                | 0.38      | 0.48           | 0.02              |
| 2        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 1.20                | 2.56      | 0.70           | 0.06              |
| 3        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 1.67                | 4.11      | 0.68           | 0.08              |
| 4        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 2.70                | 7.44      | 0.60           | 0.14              |
| 5        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 3.24                | 9.36      | 0.58           | 0.16              |
| 6        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 3.46                | 10.14     | 0.57           | 0.17              |
| 7        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 3.78                | 11.48     | 0.56           | 0.19              |
| 8        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 4.00                | 12.39     | 0.56           | 0.20              |
| 9        | Daire | 20     | 4        | Ters  | 4.33                | 13.74     | 0.55           | 0.22              |
| 10       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 4.50                | 14.45     | 0.54           | 0.23              |
| 11       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 4.66                | 15.19     | 0.54           | 0.23              |
| 12       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 4.80                | 15.83     | 0.54           | 0.24              |
| 13       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 4.95                | 16.43     | 0.54           | 0.25              |
| 14       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 5.23                | 17.75     | 0.53           | 0.26              |
| 15       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 5.47                | 18.93     | 0.53           | 0.27              |
| 16       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 5.62                | 19.64     | 0.53           | 0.28              |
| 17       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 6.05                | 21.86     | 0.53           | 0.30              |
| 18       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 6.41                | 23.64     | 0.52           | 0.32              |
| 19       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 6.70                | 25.26     | 0.52           | 0.34              |
| 20       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 7.00                | 26.97     | 0.52           | 0.35              |
| 21       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 7.38                | 29.20     | 0.52           | 0.37              |
| 22       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 7.75                | 31.39     | 0.52           | 0.39              |
| 23       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 8.14                | 33.58     | 0.52           | 0.41              |
| 24       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 8.47                | 35.76     | 0.52           | 0.42              |
| 25       | Daire | 20     | 4        | Ters  | 8.84                | 37.89     | 0.52           | 0.44              |

**EK- 7** P=20 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip asimetric konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 7)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 0.57                | 0.97      | 0.84           | 0.03              |
| 2        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 0.72                | 1.46      | 0.89           | 0.04              |
| 3        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 1.25                | 3.29      | 0.87           | 0.06              |
| 4        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 1.82                | 5.44      | 0.82           | 0.09              |
| 5        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 2.25                | 7.10      | 0.78           | 0.11              |
| 6        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 2.69                | 9.02      | 0.76           | 0.13              |
| 7        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 2.87                | 9.81      | 0.75           | 0.14              |
| 8        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 3.25                | 11.59     | 0.74           | 0.16              |
| 9        | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 3.47                | 12.67     | 0.73           | 0.17              |
| 10       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 3.60                | 13.38     | 0.73           | 0.18              |
| 11       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 3.86                | 14.78     | 0.72           | 0.19              |
| 12       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 4.10                | 16.00     | 0.72           | 0.21              |
| 13       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 4.32                | 17.20     | 0.71           | 0.22              |
| 14       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 4.55                | 18.37     | 0.70           | 0.23              |
| 15       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 4.71                | 19.54     | 0.71           | 0.24              |
| 16       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 4.92                | 20.62     | 0.70           | 0.25              |
| 17       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 5.20                | 22.31     | 0.70           | 0.26              |
| 18       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 5.47                | 23.97     | 0.70           | 0.27              |
| 19       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 5.73                | 25.56     | 0.69           | 0.29              |
| 20       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 6.00                | 27.16     | 0.69           | 0.30              |
| 21       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 6.20                | 28.82     | 0.69           | 0.31              |
| 22       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 6.44                | 30.35     | 0.69           | 0.32              |
| 23       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 6.78                | 32.50     | 0.68           | 0.34              |
| 24       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 7.02                | 34.07     | 0.68           | 0.35              |
| 25       | Daire | 20     | 2        | Asimetrik | 7.38                | 36.67     | 0.68           | 0.37              |

**EK- 8** P=20 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip asimetric konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 8)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 1.00                | 2.07      | 0.77           | 0.05              |
| 2        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 1.50                | 4.11      | 0.83           | 0.08              |
| 3        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 1.95                | 5.86      | 0.80           | 0.10              |
| 4        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 2.36                | 7.62      | 0.78           | 0.12              |
| 5        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 2.76                | 9.38      | 0.76           | 0.14              |
| 6        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 3.09                | 10.81     | 0.74           | 0.15              |
| 7        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 3.25                | 11.66     | 0.74           | 0.16              |
| 8        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 3.41                | 12.47     | 0.74           | 0.17              |
| 9        | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 3.60                | 13.32     | 0.72           | 0.18              |
| 10       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 3.82                | 14.86     | 0.74           | 0.19              |
| 11       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 4.06                | 16.12     | 0.73           | 0.20              |
| 12       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 4.25                | 17.29     | 0.73           | 0.21              |
| 13       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 4.54                | 18.43     | 0.71           | 0.23              |
| 14       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 4.62                | 19.57     | 0.73           | 0.23              |
| 15       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 4.90                | 20.71     | 0.71           | 0.25              |
| 16       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 5.13                | 21.82     | 0.70           | 0.26              |
| 17       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 5.31                | 23.51     | 0.71           | 0.27              |
| 18       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 5.66                | 25.08     | 0.69           | 0.28              |
| 19       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 5.75                | 25.68     | 0.72           | 0.29              |
| 20       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 5.95                | 27.03     | 0.73           | 0.30              |
| 21       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 6.12                | 28.20     | 0.75           | 0.31              |
| 22       | Daire | 20     | 3        | Asimetrik | 6.31                | 29.52     | 0.76           | 0.32              |

**EK- 9** P=20 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip asimetric konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 9)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 0.59                | 1.01      | 0.82           | 0.03              |
| 2        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 0.75                | 1.46      | 0.84           | 0.04              |
| 3        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 1.28                | 3.36      | 0.86           | 0.06              |
| 4        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 1.82                | 5.37      | 0.81           | 0.09              |
| 5        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 2.23                | 7.13      | 0.80           | 0.11              |
| 6        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 2.70                | 9.02      | 0.76           | 0.14              |
| 7        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 2.88                | 9.84      | 0.75           | 0.14              |
| 8        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 3.26                | 11.56     | 0.73           | 0.16              |
| 9        | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 3.43                | 12.38     | 0.72           | 0.17              |
| 10       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 3.62                | 13.32     | 0.72           | 0.18              |
| 11       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 3.77                | 13.97     | 0.71           | 0.19              |
| 12       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 3.90                | 14.69     | 0.71           | 0.20              |
| 13       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 4.15                | 15.92     | 0.70           | 0.21              |
| 14       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 4.37                | 17.17     | 0.70           | 0.22              |
| 15       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 4.60                | 18.37     | 0.69           | 0.23              |
| 16       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 4.82                | 19.51     | 0.69           | 0.24              |
| 17       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 5.00                | 20.65     | 0.69           | 0.25              |
| 18       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 5.18                | 21.79     | 0.69           | 0.26              |
| 19       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 5.36                | 22.86     | 0.68           | 0.27              |
| 20       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 5.54                | 23.94     | 0.68           | 0.28              |
| 21       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 5.85                | 25.56     | 0.67           | 0.29              |
| 22       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 6.10                | 27.19     | 0.67           | 0.31              |
| 23       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 6.30                | 28.79     | 0.68           | 0.32              |
| 24       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 6.54                | 30.35     | 0.67           | 0.33              |
| 25       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 6.80                | 31.98     | 0.67           | 0.34              |
| 26       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 6.96                | 33.58     | 0.68           | 0.35              |
| 27       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 7.20                | 35.14     | 0.68           | 0.36              |
| 28       | Daire | 20     | 4        | Asimetrik | 7.35                | 36.67     | 0.68           | 0.37              |

**EK- 10** P=30 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 10)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 1.03                | 2.30      | 0.79           | 0.03              |
| 2        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 1.75                | 5.02      | 0.78           | 0.06              |
| 3        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 2.34                | 6.97      | 0.70           | 0.08              |
| 4        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 2.63                | 8.18      | 0.69           | 0.09              |
| 5        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 3.03                | 9.80      | 0.67           | 0.10              |
| 6        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 3.20                | 10.61     | 0.67           | 0.11              |
| 7        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 3.39                | 11.35     | 0.65           | 0.11              |
| 8        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 3.62                | 12.23     | 0.64           | 0.12              |
| 9        | Daire | 30     | 2        | Düz   | 3.73                | 12.77     | 0.64           | 0.12              |
| 10       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 3.99                | 14.01     | 0.63           | 0.13              |
| 11       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 4.65                | 17.14     | 0.61           | 0.16              |
| 12       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 4.85                | 18.46     | 0.62           | 0.16              |
| 13       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 5.07                | 19.60     | 0.62           | 0.17              |
| 14       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 5.34                | 20.82     | 0.61           | 0.18              |
| 15       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 5.50                | 21.99     | 0.61           | 0.18              |
| 16       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 5.69                | 23.13     | 0.61           | 0.19              |
| 17       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 6.00                | 24.84     | 0.61           | 0.20              |
| 18       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 6.30                | 26.66     | 0.61           | 0.21              |
| 19       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 6.70                | 29.18     | 0.60           | 0.22              |
| 20       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 7.00                | 31.13     | 0.60           | 0.23              |
| 21       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 7.50                | 34.51     | 0.60           | 0.25              |
| 22       | Daire | 30     | 2        | Düz   | 8.00                | 38.03     | 0.60           | 0.27              |

**EK- 11** P=30 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 11)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 0.79                | 1.50      | 0.77           | 0.03              |
| 2        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 1.58                | 4.14      | 0.75           | 0.05              |
| 3        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 2.33                | 6.50      | 0.66           | 0.08              |
| 4        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 2.74                | 7.99      | 0.63           | 0.09              |
| 5        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 3.16                | 9.73      | 0.62           | 0.11              |
| 6        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 3.39                | 10.61     | 0.61           | 0.11              |
| 7        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 3.81                | 12.46     | 0.60           | 0.13              |
| 8        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 3.98                | 13.16     | 0.60           | 0.13              |
| 9        | Daire | 30     | 3        | Düz   | 4.20                | 14.11     | 0.59           | 0.14              |
| 10       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 4.37                | 14.95     | 0.59           | 0.15              |
| 11       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 4.55                | 15.76     | 0.58           | 0.15              |
| 12       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 4.82                | 17.11     | 0.58           | 0.16              |
| 13       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 5.10                | 18.32     | 0.57           | 0.17              |
| 14       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 5.33                | 19.53     | 0.57           | 0.18              |
| 15       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 5.58                | 20.78     | 0.57           | 0.19              |
| 16       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 5.80                | 21.96     | 0.56           | 0.19              |
| 17       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 6.04                | 23.13     | 0.56           | 0.20              |
| 18       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 6.33                | 24.86     | 0.56           | 0.21              |
| 19       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 6.60                | 26.54     | 0.56           | 0.22              |
| 20       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 6.91                | 28.26     | 0.56           | 0.23              |
| 21       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 7.17                | 29.91     | 0.56           | 0.24              |
| 22       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 7.42                | 31.59     | 0.56           | 0.25              |
| 23       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 7.72                | 33.24     | 0.56           | 0.26              |
| 24       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 7.90                | 34.89     | 0.56           | 0.26              |
| 25       | Daire | 30     | 3        | Düz   | 8.25                | 37.55     | 0.57           | 0.28              |

**EK- 12** P=30 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 12)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 0.96                | 1.61      | 0.61           | 0.03              |
| 2        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 1.87                | 4.51      | 0.63           | 0.06              |
| 3        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 2.46                | 6.43      | 0.60           | 0.08              |
| 4        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 2.85                | 7.82      | 0.58           | 0.10              |
| 5        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 3.30                | 9.56      | 0.57           | 0.11              |
| 6        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 3.50                | 10.21     | 0.56           | 0.12              |
| 7        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 3.68                | 11.01     | 0.56           | 0.12              |
| 8        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 3.89                | 11.86     | 0.56           | 0.13              |
| 9        | Daire | 30     | 4        | Düz   | 4.05                | 12.50     | 0.55           | 0.14              |
| 10       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 4.21                | 13.16     | 0.55           | 0.14              |
| 11       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 4.30                | 13.64     | 0.55           | 0.14              |
| 12       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 4.60                | 14.92     | 0.54           | 0.15              |
| 13       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 4.85                | 16.13     | 0.54           | 0.16              |
| 14       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 5.10                | 17.21     | 0.54           | 0.17              |
| 15       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 5.35                | 18.32     | 0.53           | 0.18              |
| 16       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 5.66                | 20.04     | 0.53           | 0.19              |
| 17       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 6.47                | 24.31     | 0.53           | 0.22              |
| 18       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 6.73                | 26.07     | 0.54           | 0.22              |
| 19       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 7.06                | 27.68     | 0.53           | 0.24              |
| 20       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 7.25                | 29.41     | 0.54           | 0.24              |
| 21       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 7.54                | 31.09     | 0.54           | 0.25              |
| 22       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 7.83                | 32.74     | 0.54           | 0.26              |
| 23       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 7.98                | 34.39     | 0.55           | 0.27              |
| 24       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 8.25                | 36.04     | 0.55           | 0.28              |
| 25       | Daire | 30     | 4        | Düz   | 8.55                | 37.65     | 0.54           | 0.29              |

**EK- 13** P=30 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 13)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 1.50                | 3.43      | 0.67           | 0.05              |
| 2        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 2.08                | 5.49      | 0.66           | 0.07              |
| 3        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 2.72                | 7.61      | 0.61           | 0.09              |
| 4        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 3.00                | 8.76      | 0.61           | 0.10              |
| 5        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 3.35                | 10.07     | 0.59           | 0.11              |
| 6        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 3.53                | 10.81     | 0.59           | 0.12              |
| 7        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 3.70                | 11.48     | 0.58           | 0.12              |
| 8        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 3.87                | 12.33     | 0.58           | 0.13              |
| 9        | Daire | 30     | 2        | Ters  | 4.00                | 12.93     | 0.58           | 0.13              |
| 10       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 4.70                | 16.07     | 0.57           | 0.16              |
| 11       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 4.97                | 17.38     | 0.56           | 0.17              |
| 12       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 5.21                | 18.59     | 0.56           | 0.17              |
| 13       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 5.45                | 19.74     | 0.56           | 0.18              |
| 14       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 5.67                | 20.95     | 0.56           | 0.19              |
| 15       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 5.91                | 22.13     | 0.55           | 0.20              |
| 16       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 6.11                | 23.31     | 0.55           | 0.20              |
| 17       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 6.33                | 24.45     | 0.55           | 0.21              |
| 18       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 6.55                | 25.60     | 0.55           | 0.22              |
| 19       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 6.85                | 27.25     | 0.55           | 0.23              |
| 20       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 7.15                | 28.89     | 0.54           | 0.24              |
| 21       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 7.44                | 30.62     | 0.54           | 0.25              |
| 22       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 7.71                | 32.24     | 0.54           | 0.26              |
| 23       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 7.98                | 33.88     | 0.54           | 0.27              |
| 24       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 8.24                | 35.53     | 0.54           | 0.27              |
| 25       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 8.50                | 37.11     | 0.54           | 0.28              |
| 26       | Daire | 30     | 2        | Ters  | 8.78                | 38.73     | 0.53           | 0.29              |

**EK- 14** P=30 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 14)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 1.10                | 2.39      | 0.74           | 0.04              |
| 2        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 1.87                | 4.95      | 0.70           | 0.06              |
| 3        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 2.55                | 7.20      | 0.64           | 0.09              |
| 4        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 2.90                | 8.49      | 0.62           | 0.10              |
| 5        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 3.28                | 9.91      | 0.60           | 0.11              |
| 6        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 3.49                | 10.74     | 0.59           | 0.12              |
| 7        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 3.65                | 11.42     | 0.59           | 0.12              |
| 8        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 3.80                | 12.03     | 0.58           | 0.13              |
| 9        | Daire | 30     | 3        | Ters  | 3.98                | 12.83     | 0.58           | 0.13              |
| 10       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 4.21                | 13.81     | 0.57           | 0.14              |
| 11       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 4.82                | 16.64     | 0.56           | 0.16              |
| 12       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 4.97                | 17.24     | 0.56           | 0.17              |
| 13       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 5.11                | 17.85     | 0.56           | 0.17              |
| 14       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 5.25                | 18.49     | 0.55           | 0.18              |
| 15       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 5.36                | 19.09     | 0.55           | 0.18              |
| 16       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 5.59                | 20.30     | 0.55           | 0.19              |
| 17       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 5.95                | 22.03     | 0.55           | 0.20              |
| 18       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 6.29                | 23.78     | 0.54           | 0.21              |
| 19       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 6.62                | 25.53     | 0.54           | 0.22              |
| 20       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 6.91                | 27.18     | 0.54           | 0.23              |
| 21       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 7.20                | 28.89     | 0.54           | 0.24              |
| 22       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 7.50                | 30.54     | 0.53           | 0.25              |
| 23       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 7.78                | 32.19     | 0.53           | 0.26              |
| 24       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 8.17                | 34.32     | 0.53           | 0.27              |
| 25       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 8.52                | 36.55     | 0.53           | 0.28              |
| 26       | Daire | 30     | 3        | Ters  | 8.90                | 38.73     | 0.52           | 0.30              |

**EK- 15** P=30 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 15)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 1.46                | 3.33      | 0.68           | 0.05              |
| 2        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 2.12                | 5.60      | 0.65           | 0.07              |
| 3        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 2.80                | 7.55      | 0.58           | 0.09              |
| 4        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 3.11                | 8.65      | 0.57           | 0.10              |
| 5        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 3.50                | 10.14     | 0.56           | 0.12              |
| 6        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 3.67                | 10.85     | 0.55           | 0.12              |
| 7        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 4.15                | 12.74     | 0.54           | 0.14              |
| 8        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 4.35                | 13.54     | 0.54           | 0.15              |
| 9        | Daire | 30     | 4        | Ters  | 4.57                | 14.58     | 0.54           | 0.15              |
| 10       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 4.74                | 15.22     | 0.53           | 0.16              |
| 11       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 4.90                | 15.96     | 0.53           | 0.16              |
| 12       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 5.04                | 16.61     | 0.53           | 0.17              |
| 13       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 5.19                | 17.24     | 0.52           | 0.17              |
| 14       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 5.45                | 18.49     | 0.52           | 0.18              |
| 15       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 5.70                | 19.70     | 0.52           | 0.19              |
| 16       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 5.96                | 20.92     | 0.52           | 0.20              |
| 17       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 6.20                | 22.13     | 0.52           | 0.21              |
| 18       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 6.42                | 23.27     | 0.51           | 0.21              |
| 19       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 6.64                | 24.42     | 0.51           | 0.22              |
| 20       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 6.87                | 25.53     | 0.51           | 0.23              |
| 21       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 7.08                | 26.67     | 0.51           | 0.24              |
| 22       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 7.25                | 27.79     | 0.51           | 0.24              |
| 23       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 7.48                | 28.86     | 0.51           | 0.25              |
| 24       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 7.67                | 29.97     | 0.51           | 0.26              |
| 25       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 7.90                | 31.12     | 0.50           | 0.26              |
| 26       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 8.16                | 32.77     | 0.51           | 0.27              |
| 27       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 8.45                | 34.39     | 0.50           | 0.28              |
| 28       | Daire | 30     | 4        | Ters  | 8.70                | 36.04     | 0.50           | 0.29              |

**EK- 16** P=30 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip asimetrik konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 16)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 1.14                | 3.01      | 0.92           | 0.04              |
| 2        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 1.62                | 5.34      | 0.96           | 0.05              |
| 3        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 2.17                | 7.45      | 0.87           | 0.07              |
| 4        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 2.43                | 8.50      | 0.83           | 0.08              |
| 5        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 2.73                | 9.81      | 0.81           | 0.09              |
| 6        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 2.93                | 10.62     | 0.79           | 0.10              |
| 7        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 3.08                | 11.27     | 0.77           | 0.10              |
| 8        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 3.23                | 12.02     | 0.77           | 0.11              |
| 9        | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 3.34                | 12.54     | 0.76           | 0.11              |
| 10       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 3.94                | 15.57     | 0.74           | 0.13              |
| 11       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 4.20                | 16.80     | 0.73           | 0.14              |
| 12       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 4.41                | 18.01     | 0.72           | 0.15              |
| 13       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 4.64                | 19.15     | 0.71           | 0.15              |
| 14       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 4.82                | 20.26     | 0.71           | 0.16              |
| 15       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 5.04                | 21.43     | 0.70           | 0.17              |
| 16       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 5.24                | 22.51     | 0.70           | 0.17              |
| 17       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 5.41                | 23.62     | 0.70           | 0.18              |
| 18       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 5.64                | 24.76     | 0.69           | 0.19              |
| 19       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 5.81                | 25.82     | 0.69           | 0.19              |
| 20       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 5.96                | 26.96     | 0.69           | 0.20              |
| 21       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 6.15                | 28.01     | 0.68           | 0.21              |
| 22       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 6.33                | 29.08     | 0.68           | 0.21              |
| 23       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 6.60                | 30.68     | 0.67           | 0.22              |
| 24       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 6.84                | 32.27     | 0.67           | 0.23              |
| 25       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 7.09                | 33.84     | 0.67           | 0.24              |
| 26       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 7.35                | 35.43     | 0.66           | 0.25              |
| 27       | Daire | 30     | 2        | Asimetrik | 7.67                | 37.52     | 0.66           | 0.26              |

**EK- 17** P=30 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip asimetrik konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 17)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 1.53                | 4.40      | 0.86           | 0.05              |
| 2        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 1.90                | 5.86      | 0.83           | 0.06              |
| 3        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 2.39                | 7.95      | 0.80           | 0.08              |
| 4        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 2.80                | 9.67      | 0.77           | 0.09              |
| 5        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 3.07                | 10.87     | 0.75           | 0.10              |
| 6        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 3.20                | 11.53     | 0.75           | 0.11              |
| 7        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 3.41                | 12.58     | 0.74           | 0.11              |
| 8        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 3.58                | 13.38     | 0.73           | 0.12              |
| 9        | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 3.75                | 14.30     | 0.73           | 0.13              |
| 10       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 4.00                | 15.60     | 0.72           | 0.13              |
| 11       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 4.30                | 16.87     | 0.70           | 0.14              |
| 12       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 4.51                | 18.08     | 0.70           | 0.15              |
| 13       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 4.74                | 19.18     | 0.69           | 0.16              |
| 14       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 4.95                | 20.32     | 0.69           | 0.17              |
| 15       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 5.14                | 21.43     | 0.68           | 0.17              |
| 16       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 5.35                | 22.54     | 0.68           | 0.18              |
| 17       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 5.50                | 23.68     | 0.68           | 0.18              |
| 18       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 5.74                | 24.79     | 0.67           | 0.19              |
| 19       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 5.94                | 25.84     | 0.66           | 0.20              |
| 20       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 6.10                | 26.93     | 0.66           | 0.20              |
| 21       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 6.25                | 28.01     | 0.67           | 0.21              |
| 22       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 6.46                | 29.61     | 0.67           | 0.22              |
| 23       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 6.70                | 31.24     | 0.67           | 0.22              |
| 24       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 6.95                | 32.83     | 0.67           | 0.23              |
| 25       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 7.16                | 34.43     | 0.67           | 0.24              |
| 26       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 7.36                | 35.95     | 0.67           | 0.25              |
| 27       | Daire | 30     | 3        | Asimetrik | 7.60                | 37.55     | 0.67           | 0.25              |

**EK- 18** P=30 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip asimetrik konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 18)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 1.05                | 2.38      | 0.82           | 0.04              |
| 2        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 1.65                | 4.69      | 0.82           | 0.06              |
| 3        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 2.16                | 6.61      | 0.77           | 0.07              |
| 4        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 2.48                | 8.04      | 0.77           | 0.08              |
| 5        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 2.88                | 9.64      | 0.73           | 0.10              |
| 6        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 3.10                | 10.58     | 0.72           | 0.10              |
| 7        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 3.43                | 12.15     | 0.71           | 0.11              |
| 8        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 3.64                | 13.06     | 0.70           | 0.12              |
| 9        | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 3.80                | 13.78     | 0.69           | 0.13              |
| 10       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 3.95                | 14.59     | 0.69           | 0.13              |
| 11       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 4.11                | 15.31     | 0.68           | 0.14              |
| 12       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 4.35                | 16.58     | 0.68           | 0.15              |
| 13       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 4.57                | 17.75     | 0.68           | 0.15              |
| 14       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 4.81                | 18.95     | 0.67           | 0.16              |
| 15       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 5.03                | 20.16     | 0.66           | 0.17              |
| 16       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 5.25                | 21.30     | 0.66           | 0.18              |
| 17       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 5.45                | 22.40     | 0.65           | 0.18              |
| 18       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 5.65                | 23.51     | 0.65           | 0.19              |
| 19       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 5.83                | 24.62     | 0.65           | 0.19              |
| 20       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 6.03                | 25.73     | 0.65           | 0.20              |
| 21       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 6.23                | 26.77     | 0.64           | 0.21              |
| 22       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 6.40                | 27.88     | 0.64           | 0.21              |
| 23       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 6.70                | 29.50     | 0.63           | 0.22              |
| 24       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 6.96                | 31.10     | 0.63           | 0.23              |
| 25       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 7.23                | 32.73     | 0.63           | 0.24              |
| 26       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 7.48                | 34.29     | 0.62           | 0.25              |
| 27       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 7.78                | 35.86     | 0.61           | 0.26              |
| 28       | Daire | 30     | 4        | Asimetrik | 7.97                | 37.39     | 0.62           | 0.27              |

**EK- 19** P=40 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 19)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 1.21                | 2.68      | 0.72           | 0.03              |
| 2        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 1.82                | 4.68      | 0.69           | 0.05              |
| 3        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 2.07                | 5.49      | 0.66           | 0.05              |
| 4        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 2.55                | 7.17      | 0.63           | 0.06              |
| 5        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 3.17                | 9.59      | 0.61           | 0.08              |
| 6        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 3.37                | 10.38     | 0.60           | 0.08              |
| 7        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 3.75                | 11.99     | 0.59           | 0.09              |
| 8        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 4.04                | 13.10     | 0.58           | 0.10              |
| 9        | Daire | 40     | 2        | Düz   | 4.20                | 13.87     | 0.58           | 0.11              |
| 10       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 4.36                | 14.65     | 0.58           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 4.58                | 15.69     | 0.58           | 0.11              |
| 12       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 4.93                | 17.28     | 0.57           | 0.12              |
| 13       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 5.21                | 18.56     | 0.56           | 0.13              |
| 14       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 5.48                | 19.80     | 0.55           | 0.14              |
| 15       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 5.70                | 21.05     | 0.56           | 0.14              |
| 16       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 5.91                | 22.22     | 0.56           | 0.15              |
| 17       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 6.16                | 23.40     | 0.55           | 0.15              |
| 18       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 6.39                | 24.58     | 0.55           | 0.16              |
| 19       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 6.63                | 25.76     | 0.54           | 0.17              |
| 20       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 6.85                | 26.94     | 0.54           | 0.17              |
| 21       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 7.02                | 28.12     | 0.54           | 0.18              |
| 22       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 7.23                | 29.27     | 0.54           | 0.18              |
| 23       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 7.47                | 30.38     | 0.53           | 0.19              |
| 24       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 7.6                 | 31.53     | 0.54           | 0.19              |
| 25       | Daire | 40     | 2        | Düz   | 7.82                | 32.63     | 0.54           | 0.20              |

**EK- 20** P=40 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 20)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 0.87                | 1.50      | 0.66           | 0.02              |
| 2        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 1.34                | 3.27      | 0.76           | 0.03              |
| 3        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 2.00                | 5.79      | 0.74           | 0.05              |
| 4        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 2.51                | 7.44      | 0.67           | 0.06              |
| 5        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 3.04                | 9.43      | 0.64           | 0.08              |
| 6        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 3.24                | 10.17     | 0.63           | 0.08              |
| 7        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 3.46                | 11.12     | 0.62           | 0.09              |
| 8        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 3.65                | 11.89     | 0.61           | 0.09              |
| 9        | Daire | 40     | 3        | Düz   | 4.16                | 14.01     | 0.59           | 0.10              |
| 10       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 4.41                | 15.02     | 0.58           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 4.77                | 16.54     | 0.57           | 0.12              |
| 12       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 5.07                | 17.95     | 0.56           | 0.13              |
| 13       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 5.34                | 19.23     | 0.56           | 0.13              |
| 14       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 5.48                | 19.88     | 0.56           | 0.14              |
| 15       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 5.73                | 21.09     | 0.55           | 0.14              |
| 16       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 6.00                | 22.30     | 0.55           | 0.15              |
| 17       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 6.25                | 23.48     | 0.54           | 0.16              |
| 18       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 6.46                | 24.66     | 0.54           | 0.16              |
| 19       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 6.84                | 26.40     | 0.53           | 0.17              |
| 20       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 7.18                | 28.12     | 0.53           | 0.18              |
| 21       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 7.44                | 29.27     | 0.52           | 0.19              |
| 22       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 7.65                | 30.41     | 0.52           | 0.19              |
| 23       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 7.90                | 31.56     | 0.51           | 0.20              |
| 24       | Daire | 40     | 3        | Düz   | 8.08                | 32.66     | 0.51           | 0.20              |

**EK- 21** P=40 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 21)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 0.82                | 1.50      | 0.73           | 0.02              |
| 2        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 1.43                | 3.64      | 0.77           | 0.04              |
| 3        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 1.70                | 4.65      | 0.75           | 0.04              |
| 4        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 2.27                | 6.34      | 0.67           | 0.06              |
| 5        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 2.98                | 8.89      | 0.62           | 0.07              |
| 6        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 3.12                | 9.73      | 0.63           | 0.08              |
| 7        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 3.45                | 11.08     | 0.62           | 0.09              |
| 8        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 3.64                | 11.92     | 0.62           | 0.09              |
| 9        | Daire | 40     | 4        | Düz   | 4.21                | 13.60     | 0.57           | 0.11              |
| 10       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 4.39                | 14.34     | 0.56           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 4.60                | 15.32     | 0.56           | 0.12              |
| 12       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 4.78                | 16.10     | 0.55           | 0.12              |
| 13       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 4.99                | 16.72     | 0.54           | 0.12              |
| 14       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 5.14                | 17.75     | 0.55           | 0.13              |
| 15       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 5.30                | 18.39     | 0.54           | 0.13              |
| 16       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 5.46                | 19.06     | 0.54           | 0.14              |
| 17       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 5.55                | 19.67     | 0.54           | 0.14              |
| 18       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 5.85                | 20.92     | 0.53           | 0.15              |
| 19       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 6.07                | 22.16     | 0.53           | 0.15              |
| 20       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 6.31                | 23.34     | 0.53           | 0.16              |
| 21       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 6.53                | 24.55     | 0.53           | 0.16              |
| 22       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 6.76                | 25.70     | 0.53           | 0.17              |
| 23       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 7.10                | 27.49     | 0.52           | 0.18              |
| 24       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 7.4                 | 29.20     | 0.52           | 0.19              |
| 25       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 7.78                | 30.92     | 0.51           | 0.19              |
| 26       | Daire | 40     | 4        | Düz   | 7.92                | 32.00     | 0.52           | 0.20              |

**EK- 22** P=40 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 22)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 1.64                | 4.34      | 0.74           | 0.04              |
| 2        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 1.82                | 4.95      | 0.72           | 0.05              |
| 3        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 2.42                | 7.04      | 0.67           | 0.06              |
| 4        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 3.03                | 9.23      | 0.63           | 0.08              |
| 5        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 3.22                | 10.07     | 0.63           | 0.08              |
| 6        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 3.63                | 11.75     | 0.61           | 0.09              |
| 7        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 3.82                | 12.60     | 0.61           | 0.10              |
| 8        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 4.08                | 13.74     | 0.60           | 0.10              |
| 9        | Daire | 40     | 2        | Ters  | 4.25                | 14.55     | 0.60           | 0.11              |
| 10       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 4.48                | 15.60     | 0.59           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 4.83                | 17.21     | 0.58           | 0.12              |
| 12       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 5.08                | 18.49     | 0.58           | 0.13              |
| 13       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 5.36                | 19.77     | 0.57           | 0.13              |
| 14       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 5.59                | 20.98     | 0.57           | 0.14              |
| 15       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 5.84                | 22.19     | 0.57           | 0.15              |
| 16       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 6.04                | 23.40     | 0.57           | 0.15              |
| 17       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 6.25                | 24.55     | 0.56           | 0.16              |
| 18       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 6.60                | 26.31     | 0.56           | 0.17              |
| 19       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 6.90                | 28.06     | 0.56           | 0.17              |
| 20       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 7.20                | 29.77     | 0.55           | 0.18              |
| 21       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 7.50                | 31.45     | 0.55           | 0.19              |
| 22       | Daire | 40     | 2        | Ters  | 7.80                | 33.14     | 0.55           | 0.20              |

**EK- 23** P=40 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 23)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 1.55                | 3.95      | 0.73           | 0.04              |
| 2        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 1.86                | 4.97      | 0.70           | 0.05              |
| 3        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 2.55                | 7.20      | 0.64           | 0.06              |
| 4        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 3.03                | 8.93      | 0.61           | 0.08              |
| 5        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 3.22                | 9.83      | 0.61           | 0.08              |
| 6        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 3.56                | 11.01     | 0.59           | 0.09              |
| 7        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 3.78                | 11.89     | 0.58           | 0.09              |
| 8        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 3.96                | 12.69     | 0.58           | 0.10              |
| 9        | Daire | 40     | 3        | Ters  | 4.56                | 15.32     | 0.57           | 0.11              |
| 10       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 4.95                | 17.05     | 0.56           | 0.12              |
| 11       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 5.21                | 18.39     | 0.56           | 0.13              |
| 12       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 5.49                | 19.70     | 0.55           | 0.14              |
| 13       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 5.73                | 20.92     | 0.55           | 0.14              |
| 14       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 5.97                | 22.09     | 0.54           | 0.15              |
| 15       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 6.20                | 23.31     | 0.54           | 0.16              |
| 16       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 6.45                | 24.45     | 0.54           | 0.16              |
| 17       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 6.66                | 25.63     | 0.54           | 0.17              |
| 18       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 6.87                | 26.84     | 0.54           | 0.17              |
| 19       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 7.21                | 28.17     | 0.52           | 0.18              |
| 20       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 7.53                | 30.24     | 0.53           | 0.19              |
| 21       | Daire | 40     | 3        | Ters  | 7.93                | 32.54     | 0.52           | 0.20              |

**EK- 24** P=40 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip ters konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 24)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 0.82                | 1.50      | 0.73           | 0.02              |
| 2        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 1.43                | 3.59      | 0.75           | 0.04              |
| 3        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 1.70                | 4.55      | 0.74           | 0.04              |
| 4        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 2.27                | 6.65      | 0.70           | 0.06              |
| 5        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 2.98                | 8.89      | 0.62           | 0.07              |
| 6        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 3.12                | 9.41      | 0.61           | 0.08              |
| 7        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 3.45                | 10.55     | 0.59           | 0.09              |
| 8        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 3.64                | 11.39     | 0.59           | 0.09              |
| 9        | Daire | 40     | 4        | Ters  | 4.21                | 13.39     | 0.56           | 0.11              |
| 10       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 4.39                | 13.81     | 0.54           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 4.60                | 14.78     | 0.54           | 0.12              |
| 12       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 4.78                | 15.57     | 0.54           | 0.12              |
| 13       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 4.99                | 16.51     | 0.53           | 0.12              |
| 14       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 5.14                | 17.22     | 0.53           | 0.13              |
| 15       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 5.30                | 17.85     | 0.53           | 0.13              |
| 16       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 5.46                | 18.52     | 0.52           | 0.14              |
| 17       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 5.55                | 19.14     | 0.53           | 0.14              |
| 18       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 5.85                | 21.02     | 0.53           | 0.15              |
| 19       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 6.07                | 21.62     | 0.52           | 0.15              |
| 20       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 6.31                | 23.55     | 0.53           | 0.16              |
| 21       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 6.53                | 24.01     | 0.52           | 0.16              |
| 22       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 6.76                | 26.13     | 0.53           | 0.17              |
| 23       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 7.10                | 27.49     | 0.52           | 0.18              |
| 24       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 7.40                | 29.52     | 0.53           | 0.19              |
| 25       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 7.78                | 31.24     | 0.52           | 0.19              |
| 26       | Daire | 40     | 4        | Ters  | 7.92                | 32.21     | 0.52           | 0.20              |

**EK- 25** P=40 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip asimetric konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 25)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 1.11                | 2.59      | 0.82           | 0.03              |
| 2        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 1.43                | 4.15      | 0.90           | 0.04              |
| 3        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 1.98                | 6.51      | 0.87           | 0.05              |
| 4        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 2.54                | 8.73      | 0.80           | 0.06              |
| 5        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 2.79                | 9.70      | 0.77           | 0.07              |
| 6        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 3.00                | 10.58     | 0.76           | 0.08              |
| 7        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 3.60                | 13.38     | 0.73           | 0.09              |
| 8        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 3.94                | 15.04     | 0.71           | 0.10              |
| 9        | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 4.25                | 16.64     | 0.71           | 0.11              |
| 10       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 4.51                | 17.88     | 0.69           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 4.73                | 19.15     | 0.69           | 0.12              |
| 12       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 4.95                | 20.32     | 0.69           | 0.12              |
| 13       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 5.27                | 22.05     | 0.68           | 0.13              |
| 14       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 5.59                | 23.81     | 0.67           | 0.14              |
| 15       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 6.00                | 26.08     | 0.66           | 0.15              |
| 16       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 6.35                | 28.30     | 0.66           | 0.16              |
| 17       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 6.73                | 30.52     | 0.65           | 0.17              |
| 18       | Daire | 40     | 2        | Asimetrik | 7.08                | 32.67     | 0.64           | 0.18              |

**EK- 26** P=40 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip asimetric konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 26)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 1.13                | 2.90      | 0.90           | 0.03              |
| 2        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 1.35                | 4.00      | 0.95           | 0.03              |
| 3        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 1.92                | 6.13      | 0.86           | 0.05              |
| 4        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 2.50                | 8.44      | 0.79           | 0.06              |
| 5        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 2.74                | 9.48      | 0.78           | 0.07              |
| 6        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 2.95                | 10.45     | 0.77           | 0.07              |
| 7        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 3.27                | 11.92     | 0.75           | 0.08              |
| 8        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 3.53                | 13.22     | 0.74           | 0.09              |
| 9        | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 3.82                | 14.52     | 0.72           | 0.10              |
| 10       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 4.48                | 17.88     | 0.70           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 4.72                | 19.12     | 0.69           | 0.12              |
| 12       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 5.05                | 20.91     | 0.68           | 0.13              |
| 13       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 5.35                | 22.63     | 0.68           | 0.13              |
| 14       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 5.75                | 24.91     | 0.67           | 0.14              |
| 15       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 6.15                | 27.19     | 0.66           | 0.15              |
| 16       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 6.53                | 29.41     | 0.65           | 0.16              |
| 17       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 6.89                | 31.56     | 0.65           | 0.17              |
| 18       | Daire | 40     | 3        | Asimetrik | 7.10                | 33.18     | 0.65           | 0.18              |

**EK- 27** P=40 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip asimetrik konfigürasyondaki dairesel savakların deney sonuçları (Deney No: 27)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf.     | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 1.37                | 3.73      | 0.86           | 0.03              |
| 2        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 1.93                | 6.09      | 0.84           | 0.05              |
| 3        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 2.13                | 6.84      | 0.82           | 0.05              |
| 4        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 2.71                | 9.15      | 0.76           | 0.07              |
| 5        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 3.00                | 10.39     | 0.74           | 0.08              |
| 6        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 3.16                | 11.21     | 0.74           | 0.08              |
| 7        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 3.35                | 11.89     | 0.72           | 0.08              |
| 8        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 3.95                | 14.75     | 0.70           | 0.10              |
| 9        | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 4.29                | 16.48     | 0.69           | 0.11              |
| 10       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 4.55                | 17.78     | 0.68           | 0.11              |
| 11       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 4.78                | 19.02     | 0.68           | 0.12              |
| 12       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 5.02                | 20.23     | 0.67           | 0.13              |
| 13       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 5.36                | 21.99     | 0.66           | 0.13              |
| 14       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 5.67                | 23.65     | 0.65           | 0.14              |
| 15       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 6.02                | 25.40     | 0.64           | 0.15              |
| 16       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 6.32                | 27.10     | 0.63           | 0.16              |
| 17       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 6.60                | 28.73     | 0.63           | 0.17              |
| 18       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 6.92                | 30.39     | 0.62           | 0.17              |
| 19       | Daire | 40     | 4        | Asimetrik | 7.28                | 32.57     | 0.62           | 0.18              |

**EK- 28** P=20 cm savak yüksekliğindeki düz savakların deney sonuçları (Deney No: 28)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>r</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>r</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 0.78                | 0.82      | 0.67           | 0.04              |
| 2        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 0.96                | 1.13      | 0.68           | 0.05              |
| 3        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 1.73                | 3.05      | 0.76           | 0.09              |
| 4        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 2.31                | 4.81      | 0.77           | 0.12              |
| 5        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 2.44                | 4.98      | 0.74           | 0.12              |
| 6        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 2.85                | 6.16      | 0.72           | 0.14              |
| 7        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 3.00                | 6.63      | 0.72           | 0.15              |
| 8        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 3.43                | 8.01      | 0.71           | 0.17              |
| 9        | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 3.45                | 8.17      | 0.72           | 0.17              |
| 10       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 3.63                | 8.77      | 0.72           | 0.18              |
| 11       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 3.89                | 9.71      | 0.72           | 0.19              |
| 12       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 4.08                | 10.41     | 0.71           | 0.20              |
| 13       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 4.20                | 10.90     | 0.72           | 0.21              |
| 14       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 4.51                | 12.00     | 0.71           | 0.23              |
| 15       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 4.73                | 13.01     | 0.71           | 0.24              |
| 16       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 4.75                | 13.23     | 0.72           | 0.24              |
| 17       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 5.01                | 14.36     | 0.72           | 0.25              |
| 18       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 5.13                | 14.55     | 0.71           | 0.26              |
| 19       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 5.31                | 15.55     | 0.72           | 0.27              |
| 20       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 5.62                | 17.22     | 0.73           | 0.28              |
| 21       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 5.87                | 18.25     | 0.73           | 0.29              |
| 22       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 5.92                | 18.82     | 0.74           | 0.30              |
| 23       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 6.15                | 19.83     | 0.73           | 0.31              |
| 24       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 6.33                | 20.95     | 0.74           | 0.32              |
| 25       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 6.46                | 21.43     | 0.74           | 0.32              |
| 26       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 6.53                | 21.99     | 0.74           | 0.33              |
| 27       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 6.68                | 23.00     | 0.75           | 0.33              |
| 28       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 6.70                | 22.93     | 0.75           | 0.34              |
| 29       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 6.90                | 24.50     | 0.76           | 0.35              |
| 30       | Düz   | 20     | 0        | Yok   | 7.22                | 26.64     | 0.78           | 0.36              |

**EK- 29** P=30 cm savak yüksekliğindeki düz savakların deney sonuçları (Deney No: 29)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>r</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>r</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 1.06                | 1.57      | 0.81           | 0.04              |
| 2        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 1.34                | 2.26      | 0.82           | 0.04              |
| 3        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 2.10                | 4.40      | 0.82           | 0.07              |
| 4        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 2.69                | 5.81      | 0.74           | 0.09              |
| 5        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 3.26                | 7.63      | 0.73           | 0.11              |
| 6        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 3.75                | 9.39      | 0.73           | 0.13              |
| 7        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 3.94                | 10.02     | 0.72           | 0.13              |
| 8        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 4.17                | 10.93     | 0.73           | 0.14              |
| 9        | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 4.52                | 12.38     | 0.73           | 0.15              |
| 10       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 4.75                | 13.01     | 0.71           | 0.16              |
| 11       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 4.95                | 13.70     | 0.70           | 0.17              |
| 12       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 5.18                | 14.62     | 0.70           | 0.17              |
| 13       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 5.30                | 15.24     | 0.71           | 0.18              |
| 14       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 5.46                | 15.90     | 0.70           | 0.18              |
| 15       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 5.63                | 16.44     | 0.70           | 0.19              |
| 16       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 5.71                | 17.06     | 0.71           | 0.19              |
| 17       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 6.03                | 18.20     | 0.69           | 0.20              |
| 18       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 6.23                | 19.32     | 0.70           | 0.21              |
| 19       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 6.50                | 20.39     | 0.70           | 0.22              |
| 20       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 6.70                | 21.49     | 0.70           | 0.22              |
| 21       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 6.95                | 22.56     | 0.70           | 0.23              |
| 22       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 7.10                | 23.59     | 0.70           | 0.24              |
| 23       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 7.30                | 24.69     | 0.71           | 0.24              |
| 24       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 7.55                | 26.26     | 0.72           | 0.25              |
| 25       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 7.90                | 27.87     | 0.71           | 0.26              |
| 26       | Düz   | 30     | 0        | Yok   | 8.34                | 30.41     | 0.71           | 0.28              |

**EK- 30** P=40 cm savak yüksekliğindeki düz savakların deney sonuçları (Deney No: 30)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>r</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>r</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 1.03                | 1.48      | 0.80           | 0.03              |
| 2        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 1.90                | 3.77      | 0.81           | 0.05              |
| 3        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 2.60                | 5.47      | 0.74           | 0.07              |
| 4        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 2.71                | 5.97      | 0.76           | 0.07              |
| 5        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 3.37                | 7.82      | 0.71           | 0.08              |
| 6        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 3.80                | 9.33      | 0.71           | 0.10              |
| 7        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 3.85                | 9.71      | 0.73           | 0.10              |
| 8        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 4.05                | 10.28     | 0.71           | 0.10              |
| 9        | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 4.27                | 11.06     | 0.71           | 0.11              |
| 10       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 4.45                | 11.75     | 0.71           | 0.11              |
| 11       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 4.56                | 12.35     | 0.72           | 0.11              |
| 12       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 4.83                | 13.23     | 0.70           | 0.12              |
| 13       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 4.90                | 13.57     | 0.71           | 0.12              |
| 14       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 5.15                | 14.64     | 0.71           | 0.13              |
| 15       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 5.20                | 14.67     | 0.70           | 0.13              |
| 16       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 5.40                | 15.75     | 0.71           | 0.14              |
| 17       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 5.66                | 16.78     | 0.70           | 0.14              |
| 18       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 6.00                | 18.25     | 0.70           | 0.15              |
| 19       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 6.21                | 19.29     | 0.70           | 0.16              |
| 20       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 6.43                | 20.26     | 0.70           | 0.16              |
| 21       | Düz   | 40     | 0        | Yok   | 6.80                | 21.74     | 0.69           | 0.17              |

**EK- 31** P=20 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 31)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 1.35                | 2.49      | 0.63           | 0.07              |
| 2        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 1.80                | 4.00      | 0.66           | 0.09              |
| 3        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 2.08                | 4.83      | 0.64           | 0.10              |
| 4        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 2.50                | 6.20      | 0.63           | 0.13              |
| 5        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 2.92                | 7.72      | 0.62           | 0.15              |
| 6        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 2.95                | 7.83      | 0.62           | 0.15              |
| 7        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 3.15                | 8.54      | 0.61           | 0.16              |
| 8        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 3.33                | 9.28      | 0.61           | 0.17              |
| 9        | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 3.61                | 10.44     | 0.61           | 0.18              |
| 10       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 4.11                | 12.49     | 0.60           | 0.21              |
| 11       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 4.25                | 13.11     | 0.60           | 0.21              |
| 12       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 4.47                | 14.21     | 0.60           | 0.22              |
| 13       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 4.70                | 15.27     | 0.60           | 0.24              |
| 14       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 4.95                | 16.27     | 0.59           | 0.25              |
| 15       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 5.22                | 17.77     | 0.59           | 0.26              |
| 16       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 5.43                | 18.86     | 0.59           | 0.27              |
| 17       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 5.72                | 20.27     | 0.59           | 0.29              |
| 18       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 5.99                | 21.73     | 0.59           | 0.30              |
| 19       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 6.25                | 23.20     | 0.59           | 0.31              |
| 20       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 6.50                | 24.68     | 0.59           | 0.33              |
| 21       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 6.77                | 26.07     | 0.59           | 0.34              |
| 22       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 6.98                | 27.52     | 0.60           | 0.35              |
| 23       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 7.22                | 28.95     | 0.60           | 0.36              |
| 24       | Üçgen | 20     | 2        | Düz   | 7.41                | 30.34     | 0.60           | 0.37              |

**EK- 32** P=20 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 32)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 1.84                | 3.77      | 0.60           | 0.09              |
| 2        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 2.14                | 4.72      | 0.60           | 0.11              |
| 3        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 2.60                | 6.14      | 0.58           | 0.13              |
| 4        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 3.07                | 7.77      | 0.58           | 0.15              |
| 5        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 3.28                | 8.54      | 0.57           | 0.16              |
| 6        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 3.51                | 9.40      | 0.57           | 0.18              |
| 7        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 3.96                | 11.15     | 0.56           | 0.20              |
| 8        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 4.13                | 11.83     | 0.56           | 0.21              |
| 9        | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 4.27                | 12.42     | 0.56           | 0.21              |
| 10       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 4.41                | 13.02     | 0.56           | 0.22              |
| 11       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 4.65                | 14.11     | 0.56           | 0.23              |
| 12       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 4.90                | 15.18     | 0.56           | 0.25              |
| 13       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 5.10                | 16.20     | 0.56           | 0.26              |
| 14       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 5.34                | 17.23     | 0.56           | 0.27              |
| 15       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 5.55                | 18.24     | 0.56           | 0.28              |
| 16       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 5.78                | 19.22     | 0.55           | 0.29              |
| 17       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 5.95                | 20.20     | 0.56           | 0.30              |
| 18       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 6.15                | 21.19     | 0.55           | 0.31              |
| 19       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 6.29                | 22.19     | 0.56           | 0.31              |
| 20       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 6.47                | 23.13     | 0.56           | 0.32              |
| 21       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 6.64                | 24.11     | 0.56           | 0.33              |
| 22       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 6.81                | 25.06     | 0.56           | 0.34              |
| 23       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 7.00                | 26.02     | 0.56           | 0.35              |
| 24       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 7.30                | 27.46     | 0.56           | 0.37              |
| 25       | Üçgen | 20     | 3        | Düz   | 7.60                | 29.36     | 0.56           | 0.38              |

**EK- 33** P=20 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 33)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 1.43                | 2.49      | 0.58           | 0.07              |
| 2        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 1.64                | 3.12      | 0.59           | 0.08              |
| 3        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 2.05                | 4.39      | 0.60           | 0.10              |
| 4        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 2.53                | 5.84      | 0.58           | 0.13              |
| 5        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 3.22                | 8.10      | 0.56           | 0.16              |
| 6        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 3.47                | 8.96      | 0.55           | 0.17              |
| 7        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 3.80                | 10.18     | 0.55           | 0.19              |
| 8        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 4.08                | 11.22     | 0.54           | 0.20              |
| 9        | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 4.34                | 12.16     | 0.54           | 0.22              |
| 10       | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 4.57                | 13.11     | 0.54           | 0.23              |
| 11       | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 4.91                | 14.50     | 0.53           | 0.25              |
| 12       | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 5.29                | 16.11     | 0.53           | 0.26              |
| 13       | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 5.60                | 17.59     | 0.53           | 0.28              |
| 14       | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 5.96                | 18.89     | 0.52           | 0.30              |
| 15       | Üçgen | 20     | 4        | 4     | 6.22                | 20.70     | 0.53           | 0.31              |

**EK- 34** P=30 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 34)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 0.80                | 1.10      | 0.61           | 0.03              |
| 2        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 1.15                | 2.08      | 0.67           | 0.04              |
| 3        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 1.47                | 3.12      | 0.70           | 0.05              |
| 4        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 2.03                | 4.84      | 0.67           | 0.07              |
| 5        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 2.52                | 6.44      | 0.64           | 0.08              |
| 6        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 3.03                | 8.26      | 0.62           | 0.10              |
| 7        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 3.21                | 8.93      | 0.62           | 0.11              |
| 8        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 3.84                | 11.36     | 0.60           | 0.13              |
| 9        | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 4.00                | 12.07     | 0.60           | 0.13              |
| 10       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 4.21                | 12.91     | 0.60           | 0.14              |
| 11       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 4.52                | 14.21     | 0.59           | 0.15              |
| 12       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 4.60                | 14.53     | 0.59           | 0.15              |
| 13       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 4.66                | 14.83     | 0.59           | 0.16              |
| 14       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 4.79                | 15.39     | 0.59           | 0.16              |
| 15       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 4.92                | 15.98     | 0.58           | 0.16              |
| 16       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 5.17                | 17.05     | 0.58           | 0.17              |
| 17       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 5.38                | 18.16     | 0.58           | 0.18              |
| 18       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 5.61                | 19.19     | 0.58           | 0.19              |
| 19       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 5.82                | 20.23     | 0.57           | 0.19              |
| 20       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 6.02                | 21.20     | 0.57           | 0.20              |
| 21       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 6.08                | 21.44     | 0.57           | 0.20              |
| 22       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 6.28                | 22.27     | 0.56           | 0.21              |
| 23       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 6.46                | 23.28     | 0.57           | 0.22              |
| 24       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 6.75                | 24.76     | 0.56           | 0.23              |
| 25       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 7.05                | 26.34     | 0.56           | 0.24              |
| 26       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 7.40                | 28.18     | 0.56           | 0.25              |
| 27       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 7.82                | 30.14     | 0.55           | 0.26              |
| 28       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 8.15                | 32.10     | 0.55           | 0.27              |
| 29       | Üçgen | 30     | 2        | Düz   | 8.53                | 34.47     | 0.55           | 0.28              |

**EK- 35** P=30 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 35)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 0.99                | 1.58      | 0.64           | 0.03              |
| 2        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 1.33                | 2.52      | 0.66           | 0.04              |
| 3        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 1.51                | 3.09      | 0.66           | 0.05              |
| 4        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 1.74                | 3.80      | 0.66           | 0.06              |
| 5        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 2.08                | 4.78      | 0.64           | 0.07              |
| 6        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 2.66                | 6.67      | 0.61           | 0.09              |
| 7        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 3.04                | 7.92      | 0.60           | 0.10              |
| 8        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 3.47                | 9.46      | 0.58           | 0.12              |
| 9        | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 3.45                | 9.40      | 0.59           | 0.12              |
| 10       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 3.66                | 10.11     | 0.58           | 0.12              |
| 11       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 3.90                | 11.12     | 0.58           | 0.13              |
| 12       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 4.16                | 12.08     | 0.57           | 0.14              |
| 13       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 4.31                | 12.60     | 0.56           | 0.14              |
| 14       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 4.48                | 13.28     | 0.56           | 0.15              |
| 15       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 4.65                | 14.00     | 0.56           | 0.16              |
| 16       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 4.92                | 15.11     | 0.55           | 0.16              |
| 17       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 5.21                | 16.26     | 0.55           | 0.17              |
| 18       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 5.33                | 16.81     | 0.55           | 0.18              |
| 19       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 5.48                | 17.35     | 0.54           | 0.18              |
| 20       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 5.72                | 18.42     | 0.54           | 0.19              |
| 21       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 5.93                | 19.46     | 0.54           | 0.20              |
| 22       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 6.15                | 20.47     | 0.54           | 0.21              |
| 23       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 6.36                | 21.48     | 0.53           | 0.21              |
| 24       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 6.59                | 22.48     | 0.53           | 0.22              |
| 25       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 6.79                | 23.46     | 0.53           | 0.23              |
| 26       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 7.03                | 24.45     | 0.52           | 0.23              |
| 27       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 7.16                | 25.44     | 0.53           | 0.24              |
| 28       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 7.38                | 26.40     | 0.53           | 0.25              |
| 29       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 7.58                | 27.35     | 0.52           | 0.25              |
| 30       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 7.79                | 28.29     | 0.52           | 0.26              |
| 31       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 7.97                | 29.31     | 0.52           | 0.27              |
| 32       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 8.00                | 29.29     | 0.52           | 0.27              |
| 33       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 8.24                | 30.73     | 0.52           | 0.27              |
| 34       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 8.52                | 32.56     | 0.52           | 0.28              |
| 35       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 8.74                | 33.60     | 0.52           | 0.29              |
| 36       | Üçgen | 30     | 3        | Düz   | 9.00                | 35.00     | 0.52           | 0.30              |

**EK- 36** P=30 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 36)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 0.62                | 0.62      | 0.51           | 0.02              |
| 2        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 1.41                | 2.44      | 0.58           | 0.05              |
| 3        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 2.06                | 4.39      | 0.59           | 0.07              |
| 4        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 2.28                | 5.00      | 0.58           | 0.08              |
| 5        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 2.31                | 5.17      | 0.59           | 0.08              |
| 6        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 2.88                | 6.85      | 0.56           | 0.10              |
| 7        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 3.33                | 8.39      | 0.55           | 0.11              |
| 8        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 3.36                | 8.52      | 0.55           | 0.11              |
| 9        | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 3.52                | 9.10      | 0.55           | 0.12              |
| 10       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 3.55                | 9.16      | 0.55           | 0.12              |
| 11       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 3.72                | 9.82      | 0.55           | 0.12              |
| 12       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 3.73                | 9.85      | 0.55           | 0.12              |
| 13       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 3.93                | 10.56     | 0.54           | 0.13              |
| 14       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 4.07                | 11.05     | 0.54           | 0.14              |
| 15       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 4.12                | 11.16     | 0.53           | 0.14              |
| 16       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 4.60                | 12.99     | 0.53           | 0.15              |
| 17       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 4.63                | 13.14     | 0.53           | 0.15              |
| 18       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 4.75                | 13.68     | 0.53           | 0.16              |
| 19       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 4.82                | 13.79     | 0.52           | 0.16              |
| 20       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 4.97                | 14.39     | 0.52           | 0.17              |
| 21       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 5.05                | 14.90     | 0.52           | 0.17              |
| 22       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 5.11                | 14.95     | 0.52           | 0.17              |
| 23       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 5.35                | 16.08     | 0.52           | 0.18              |
| 24       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 5.37                | 16.08     | 0.52           | 0.18              |
| 25       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 5.63                | 17.14     | 0.51           | 0.19              |
| 26       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 5.85                | 18.19     | 0.51           | 0.20              |
| 27       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 5.89                | 18.24     | 0.51           | 0.20              |
| 28       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 6.10                | 19.28     | 0.51           | 0.20              |
| 29       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 6.12                | 19.29     | 0.51           | 0.20              |
| 30       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 6.33                | 20.30     | 0.51           | 0.21              |
| 31       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 6.56                | 21.30     | 0.51           | 0.22              |
| 32       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 6.76                | 22.28     | 0.51           | 0.23              |
| 33       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 6.95                | 23.28     | 0.51           | 0.23              |
| 34       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 7.15                | 24.29     | 0.51           | 0.24              |
| 35       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 7.46                | 25.75     | 0.50           | 0.25              |
| 36       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 7.72                | 27.20     | 0.51           | 0.26              |
| 37       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 8.05                | 28.68     | 0.50           | 0.27              |
| 38       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 8.30                | 30.14     | 0.50           | 0.28              |
| 39       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 8.52                | 31.59     | 0.51           | 0.28              |
| 40       | Üçgen | 30     | 4        | Düz   | 8.7                 | 32.95     | 0.51           | 0.29              |

**EK- 37** P=40 cm savak yüksekliği ve N=2 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 37)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 1.07                | 1.64      | 0.59           | 0.03              |
| 2        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 1.08                | 1.77      | 0.63           | 0.03              |
| 3        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 1.41                | 2.70      | 0.64           | 0.04              |
| 4        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 1.45                | 2.70      | 0.62           | 0.04              |
| 5        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 1.45                | 2.86      | 0.65           | 0.04              |
| 6        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 1.67                | 3.49      | 0.65           | 0.04              |
| 7        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 1.69                | 3.53      | 0.64           | 0.04              |
| 8        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 2.15                | 4.97      | 0.63           | 0.05              |
| 9        | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 2.89                | 7.38      | 0.60           | 0.07              |
| 10       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 3.13                | 8.24      | 0.59           | 0.08              |
| 11       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 3.38                | 9.14      | 0.59           | 0.08              |
| 12       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 3.55                | 9.84      | 0.59           | 0.09              |
| 13       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 3.70                | 10.42     | 0.58           | 0.09              |
| 14       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 3.85                | 10.94     | 0.58           | 0.10              |
| 15       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.00                | 11.64     | 0.58           | 0.10              |
| 16       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.17                | 12.27     | 0.58           | 0.10              |
| 17       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.27                | 12.76     | 0.58           | 0.11              |
| 18       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.39                | 13.21     | 0.57           | 0.11              |
| 19       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.55                | 13.79     | 0.57           | 0.11              |
| 20       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.66                | 14.39     | 0.57           | 0.12              |
| 21       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.78                | 14.83     | 0.57           | 0.12              |
| 22       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 4.87                | 15.30     | 0.57           | 0.12              |
| 23       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 5.20                | 16.76     | 0.56           | 0.13              |
| 24       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 5.43                | 17.74     | 0.56           | 0.14              |
| 25       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 5.61                | 18.66     | 0.56           | 0.14              |
| 26       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 5.83                | 19.65     | 0.56           | 0.15              |
| 27       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 6.23                | 21.54     | 0.55           | 0.16              |
| 28       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 6.58                | 23.32     | 0.55           | 0.16              |
| 29       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 6.97                | 25.21     | 0.55           | 0.17              |
| 30       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 7.31                | 26.96     | 0.54           | 0.18              |
| 31       | Üçgen | 40     | 2        | Düz   | 7.65                | 28.81     | 0.54           | 0.19              |

**EK- 38** P=40 cm savak yüksekliği ve N=3 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No: 38)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 1.45                | 2.81      | 0.64           | 0.04              |
| 2        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 1.71                | 3.63      | 0.65           | 0.04              |
| 3        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 2.25                | 5.13      | 0.61           | 0.06              |
| 4        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 2.95                | 7.36      | 0.58           | 0.07              |
| 5        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 3.21                | 8.28      | 0.57           | 0.08              |
| 6        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 3.47                | 9.22      | 0.57           | 0.09              |
| 7        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 3.66                | 9.90      | 0.56           | 0.09              |
| 8        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 3.81                | 10.47     | 0.56           | 0.10              |
| 9        | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 3.96                | 11.02     | 0.56           | 0.10              |
| 10       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 4.15                | 11.72     | 0.55           | 0.10              |
| 11       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 4.46                | 12.96     | 0.55           | 0.11              |
| 12       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 4.59                | 13.46     | 0.55           | 0.11              |
| 13       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 4.71                | 13.90     | 0.54           | 0.12              |
| 14       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 4.97                | 14.98     | 0.54           | 0.12              |
| 15       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 5.20                | 15.96     | 0.54           | 0.13              |
| 16       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 5.45                | 16.98     | 0.53           | 0.14              |
| 17       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 5.66                | 17.92     | 0.53           | 0.14              |
| 18       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 5.89                | 18.86     | 0.53           | 0.15              |
| 19       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 6.12                | 19.82     | 0.52           | 0.15              |
| 20       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 6.31                | 20.73     | 0.52           | 0.16              |
| 21       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 6.53                | 21.65     | 0.52           | 0.16              |
| 22       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 6.75                | 22.57     | 0.51           | 0.17              |
| 23       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 6.94                | 23.44     | 0.51           | 0.17              |
| 24       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 7.14                | 24.36     | 0.51           | 0.18              |
| 25       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 7.34                | 25.31     | 0.51           | 0.18              |
| 26       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 7.52                | 26.14     | 0.51           | 0.19              |
| 27       | Üçgen | 40     | 3        | Düz   | 7.71                | 27.05     | 0.50           | 0.19              |

**EK- 39** P=40 cm savak yüksekliği ve N=4 adet döngü sayısına sahip düz konfigürasyondaki üçgen savakların deney sonuçları (Deney No:39)

| Ölçüm No | Kesit | P (cm) | N (Adet) | Konf. | H <sub>T</sub> (cm) | Q (lt/sn) | C <sub>d</sub> | H <sub>T</sub> /P |
|----------|-------|--------|----------|-------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 1        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 1.00                | 1.54      | 0.61           | 0.03              |
| 2        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 1.29                | 2.32      | 0.63           | 0.03              |
| 3        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 1.30                | 2.40      | 0.65           | 0.03              |
| 4        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 1.50                | 3.09      | 0.67           | 0.04              |
| 5        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 1.77                | 3.85      | 0.65           | 0.04              |
| 6        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 2.45                | 5.93      | 0.62           | 0.06              |
| 7        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 2.80                | 6.91      | 0.59           | 0.07              |
| 8        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 2.86                | 7.25      | 0.60           | 0.07              |
| 9        | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 3.14                | 8.19      | 0.59           | 0.08              |
| 10       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 3.40                | 8.89      | 0.57           | 0.09              |
| 11       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 3.65                | 9.95      | 0.57           | 0.09              |
| 12       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 3.75                | 10.21     | 0.56           | 0.09              |
| 13       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 4.07                | 11.40     | 0.55           | 0.10              |
| 14       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 4.12                | 11.67     | 0.56           | 0.10              |
| 15       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 4.38                | 12.60     | 0.55           | 0.11              |
| 16       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 4.50                | 13.09     | 0.55           | 0.11              |
| 17       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 4.67                | 13.67     | 0.54           | 0.12              |
| 18       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 4.90                | 14.68     | 0.54           | 0.12              |
| 19       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 5.25                | 16.02     | 0.53           | 0.13              |
| 20       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 5.51                | 17.15     | 0.53           | 0.14              |
| 21       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 5.55                | 17.32     | 0.53           | 0.14              |
| 22       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 5.83                | 18.25     | 0.52           | 0.15              |
| 23       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 6.02                | 19.34     | 0.52           | 0.15              |
| 24       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 6.05                | 19.35     | 0.52           | 0.15              |
| 25       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 6.30                | 20.35     | 0.51           | 0.16              |
| 26       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 6.54                | 21.42     | 0.51           | 0.16              |
| 27       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 6.76                | 22.49     | 0.51           | 0.17              |
| 28       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 6.78                | 22.45     | 0.51           | 0.17              |
| 29       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 6.96                | 23.47     | 0.51           | 0.17              |
| 30       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 7.21                | 24.50     | 0.50           | 0.18              |
| 31       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 7.43                | 25.49     | 0.50           | 0.19              |
| 32       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 7.62                | 26.52     | 0.50           | 0.19              |
| 33       | Üçgen | 40     | 4        | Düz   | 7.80                | 27.56     | 0.50           | 0.20              |

## YAYINLAR

### SCI, SCI-expanded, SSCI, AHCI İndeksleri kapsamında yayımlanmış

Yildiz, A., Yazar, A., Kumcu, S.Y., Martı, A., İ., 2020, Numerical and ANFIS modeling of flow over an ogee-crested spillway. *Applied Water Science* 10 (90).

Yildiz, A., Martı, A., İ., Göğüş, M., 2021, Numerical and experimental modeling of flow at Tyrolean weirs, *Flow Measurement and Ins.* 81. (Yüksek Lisans Tezi)

### Diğer İndekslerde taranan dergilerde yayımlanmış

Yildiz, A., Martı, A., İ., Göğüş, M., 2021, Determination of hydraulic characteristics of flow over a triangular sectioned weir by using experimental and numerical modeling, *Journal of Computational Applied Mechanics.* 2, 52. (Doktora Tezi)

Yıldız, A., Yarbaşı, G., E., Yazar, A., Martı, A., İ., 2020, Modeling of broad crested weirs by using dynamic similarity and cfd, *Romanian Journal of Ecology Environmental Chemistry*, 2(2).

Yıldız, A., Martı, A., İ., Yazar, A., Yılmaz, V., 2020, Determination of position of hydraulic jump in a flume by using CFD and comparison with experiential results, *Romanian Journal of Ecology Environmental Chemistry*, 2(2).

### Uluslararası Etkinliklerde sunulan ve tam metni yayımlanmış

Yıldız, A., Kumcu, Ş. Y., Martı, A. İ., 2015, Comparison of experimental study and cfd analysis of the flow under a sluice gate, *International Conference on Structural Architectural and Civil Engineering*, Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri, 251-255.

Yıldız, A., Kumcu, Ş. Y., Martı, A. İ., 2015, Observation of hydraulic jump phenomena by using cfd and compression of numerical and experimental study, *Multidisciplinary Academic Conference on Education and E-Learning in Prague*, Prag, Çek Cumhuriyeti, 21-25.

Erayman, E., Yıldız, M., Çavuş, U. Ş., Yıldız, A., 2016, Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu barajlar ve türkiye'deki uygulamaları, 6. *Geoteknik Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana, 109-120.

Martı, A. İ., Yıldız, A., 2017, Southern oscillation effect on eastern Anatolia precipitation, *Statisticians and Young Statisticians Congress*, Konya, Türkiye, 279-280.

Yıldız, A., Yazar, A., 2018, Physical modeling of flow over an ogee spillway and investigation of scale effects by using froude similarity, *21nd International Symposium "The Environment and The Industry" SIMI 2018*, Bükreş, Romanya, 105-110.

- Yıldız, A., Yazar, A., Kumcu, Ş. Y., 2018, Numerical modeling of flow over an ogee spillway and investigation of effect of downstream influences on discharge, *21st International Symposium "The Environment and The Industry" SIMI 2018*, , Bükreş, Romanya, 76-83.
- Yıldız, A., Martı, A. İ., 2018, Physical modeling of submerged flow under sluice gate: investigation of scale effects and dynamic similarity, *5<sup>th</sup> International Symposium on Dam Safety*, İstanbul, Türkiye, 304-315.
- Yıldız, A., Martı, A. İ., Kumcu, Ş. Y., 2018, Numerical modeling of submerged hydraulic jump under a sluice gate, comparison of numerical and physical models, *5<sup>th</sup> International Symposium on Dam Safety*, İstanbul, Türkiye, 902-911.
- Kocaer, Ö., Yazar, A., Yıldız, A., 2018, Comparison of numerical modeling and experimental results of flow on a ogee spillway, *5<sup>th</sup> International Symposium On Multi-Disciplinary Studies (ISMS)*, Ankara, Türkiye, 827-833(2).
- Yıldız, A., Yazar, A., Martı, A. İ., Kocaer, Ö., 2019, A new approach to determine the discharge passing over ogee spillway, *22nd International Symposium "The Environment and The Industry" SIMI 2019*, Bükreş, Romanya, 17-23.
- Yıldız, A., Yazar, A., Martı, A. İ., Kocaer, Ö., (2019), Investigation of service bridge piers located on spillway and effect on discharge, *22nd International Symposium "The Environment and The Industry" SIMI 2019*" SIMI 2019, Bükreş, Romanya, 63-70.
- Yıldız, A., Göğüş, M., Martı, A., İ., 2021, Hydraulic design of circular sectioned labyrinth weirs and comparison with triangular formed labyrinth weirs, *ES'20 International Engineering Symposium*, 274-281. (Doktora Tezi)