



**T.C. NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**LABİRENT DOLUSAVAKLARIN
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN
DENEYSEL VE MATEMATİKSEL
MODELLEME YÖNTEMİYLE
ARAŞTIRILMASI**

Ezgi ÖZTÜRK İSPİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Mayıs-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ezgi ÖZTÜRK İSPİR tarafından hazırlanan “Labirent dolusavakların karakteristik özelliklerinin deneysel ve matematiksel modelleme yöntemleriyle araştırılması ” adlı tez çalışması 31/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr.Mustafa GÖĞÜŞ

.....

Danışman

Doç.Dr.Ş.Yurdagül KUMCU

.....

Üye

Prof.Dr.M.Emin AYDIN

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARALI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Ezgi ÖZTÜRK İSPİR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LABİRENT DOLUSAVAKLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL VE MATEMATİKSEL YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

Ezgi ÖZTÜRK İSPİR

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ş.Yurdağül KUMCU

2018, 70 Sayfa

Jüri

Doç.Dr.Ş.Yurdağül KUMCU

Prof.Dr.Mustafa GÖĞÜŞ

Prof.Dr.M.Emin AYDIN

Dolusavaklar bir barajın proje maliyetinde önemli bir yer tutan ve barajın güvenliği ile ilgili önemli fonksiyonları olan yapılardır. Labirent dolusavak kavramı dolusavak en üst kotunun etkili uzunluğunun planda uygulanan çeşitli formlar ile artırılarak belirli bir göl seviyesinde deşarj edilebilen debinin artırılması veya sabit bir debinin daha düşük su yükleri ile geçirilmesini sağlayarak rezervuar su seviyesinin düşürülmesini içermektedir. Bu savaklar aynı zamanda topoğrafyanın sınırlandırdığı alanlar içinde avantajlar sağlayan alternatifler olarak değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra kolay inşaatı ve klasik kapaklı dolusavaklara oranla daha güvenilir işletme koşulları da diğer avantajlarından. Labirent dolusavakların hidrolik özelliklerini araştırmak için laboratuvarında bir seri deney yapılmıştır. Yapılan her deneyde, savaklar üzerinden geçen akım debileri ve bu değerlere karşılık gelen su yükseklikleri ölçülmüştür. Aynı zamanda bu deneysel çalışmalar FLOW-3D yazılım programında da test edilmiş, deneysel ve matematiksel çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, sabit su yüksekliğinde savağın boyu arttıkça geçen debi miktarının da arttığı ve deneysel çalışmalarla FLOW-3D yazılımından elde edilen sonuçların birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Debi katsayısı, dolusavak kapasitesi, FLOW-3D, labirent dolusavaklar

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF LABYRINTH SPILLWAYS BY EXPERIMENTAL AND MATHEMATICAL MODELLING METHODS

Ezgi ÖZTÜRK İSPİR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Assistant Professor Dr. Ş. Yurdagül KUMCU

2018, 70 Pages

Jury

**Assistant Professor Dr. Ş. Yurdagül KUMCU
Professor Dr. Mustafa GÖĞÜŞ
Professor Dr. M. Emin AYDIN**

Spillways are structures that have an important place in the project cost of a dam and have important functions related to the security of the dam. The labyrinth spillway concept involves reducing the reservoir water level by increasing the effective length of the spillway crest with various forms applied on the plate, increasing the discharge that can be discharged at a certain lake level, or passing a constant stream with smaller crest water loads. These weirs can also be considered as alternatives that provide advantages within the topographic boundaries. In addition, easier construction and more reliable operating conditions compared to classical controlled spillways are other advantages. Many experiments have been conducted in the laboratory to investigate the hydraulic properties of labyrinth spillways. In each experiment, the flow discharges passing over the weirs and the corresponding water heads were measured. At the same time, these experimental studies were also tested in the FLOW-3D software program and the results of the experimental and mathematical studies were compared with each other and presented in the form of graphs. As a result of the studies, it was observed that the flow rate increased as the length of the weir increased with the same water height and the results obtained with the use of FLOW-3D software were similar to those of experimental studies.

Keywords: Discharge coefficient, spillway capacity, FLOW -3D, labyrinth spillway

ÖNSÖZ

Öncelikle bu zamana kadar üzerimde sınırsız emeği olan ve her an yanımda olduklarını hep hissettiren, hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim anne ve babama, eşime ve özellikle tez konusunu seçerken şartlarımı ve isteklerimi dikkate alıp bana gerek çalışmalarım gerekse kaynak konusunda yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ş. Yurdağul KUMCU'ya ve emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ezgi ÖZTÜRK İSPİR
KONYA-2018



İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| ÖNSÖZ | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | viii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 5 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 15 |
| 3.1. Materyal | 15 |
| 3.1.1. Teorik Çalışma..... | 15 |
| 3.1.2. H-Q Denklemine Çıkarılması..... | 15 |
| 3.1.3. Labirent Dolusavak Üzerindeki Akım Koşulları | 17 |
| 3.1.4. Boyut Analizi | 19 |
| 3.2. Yöntem..... | 21 |
| 3.2.1. Deneysel Çalışma | 21 |
| 3.2.2. FLOW 3D ve Matematiksel Modelleme | 26 |
| 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA..... | 37 |
| 4.1. Giriş..... | 37 |
| 4.2. Lineer ve Labirent Dolusavakların Performanslarını Etkileyen Değişkenler | 37 |
| 4.2.1. Savak uzunluğu veya savak açısının debi kapasitesi üzerindeki etkisi..... | 37 |
| 4.2.2. Debi katsayısı üzerinde h/P' nin etkisi | 41 |
| 4.2.3. Savak yüksekliğinin debi üzerindeki etkisi | 49 |
| 4.2.4. Savak şeklinin debi katsayısı üzerindeki etkisi..... | 52 |
| 4.2.5. Labirent savaklarda savak yüksekliği ile debi kapasitesinin savak göz sayısı ile ilişkisi..... | 54 |
| 4.2.6. Labirent savaklarda C_d ile H/P arasındaki ilişkinin göz sayısı ile değişimi.. | 56 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 64 |
| KAYNAKLAR | 66 |
| ÖZGEÇMİŞ | 76 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

| | |
|----------|---|
| B | : Yan duvar uzunluğu |
| A | : Alın duvarı yarım uzunluğu |
| α | : Yan duvarın göz eksenini ile yaptığı açı |
| H_v | : Hız Yüksekliği |
| H | : Piyezometre seviyesi |
| H_o | : Toplam yük |
| H_d | : Mansap su derinliği |
| W | : Bir göz genişliği |
| N | : Labirent göz sayısı |
| W_t | : Toplam genişlik |
| L | : Bir gözün uzunluğu |
| L_t | : Toplam kret uzunluğu |
| Q | : Debi |
| QL | : Labirent dolusavaktan deşarj edilen debi |
| QR | : Radyal dolusavaktan deşarj edilen debi |
| P | : Labirent duvarın memba yüzü yüksekliği |
| D | : Labirent duvarın mansap yüzü yüksekliği |
| T | : Duvar kalınlığı |
| C_w | : Debi katsayısı |
| k | : Labirent dolusavağın poligonal durumuna bağlı katsayı |
| G | : Yerçekimi ivmesi |
| γ | : Suyun özgül ağırlığı |

Kısaltmalar

| | |
|------|--|
| PMF | : Olası maksimum taşkın |
| HAD | : Hesaplmalı akışkanlar dinamiği |
| USBR | : United States Bureau of Reclamation |
| DE | : Diferansiyel Evrim |
| GA | : Genetik Algoritma |
| VOF | : Volume of fluid – akım hacmi |
| USAC | : University Studies Abroad Consortium |

1. GİRİŞ

Dolusavaklar bir baraj inşasında yapım ve maliyet nedeniyle çok önemli rol oynayan baraj emniyet yapılarıdır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar barajlardaki hasarların 1/3' nün dolusavak kapasitesinin yetersizliği nedeniyle olduğunu ortaya koymuştur. Bazı mevcut su yapılarında proje hidrolojisi incelendiğinde PMF (olası maksimum taşkın) debisinin artırılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Eğer baraj dolusavağı belirlenen bu debiyi geçirecek kapasitede değilse, taşkın depolama kapasitesinin artırılması çözümü aranır. ABD' deki barajlar gelişmiş hidrolojik metodlar kullanılarak üzerinden suyun aşma tehlikesi olup olmaması incelenerek yapılmaktadır (DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 1993). Aynı çalışmada, barajların zarar görmesinin en önemli nedeninin, yeterli dolusavak kapasitesine sahip olmadığı belirtilmektedir.

Geçen 40 yılda barajların üzerinden su aşımıyla oluşabilecek hasarların azaltılarak can ve mal kaybı olmadan, insan hayatının tehlikeye atılmaması ya da en aza indirilebilmesi için daha fazla çalışma yapılmıştır. Bu nedenle baraj mühendisleri taşkın debilerini daha uzun zaman periyotlarını dikkate alarak belirleme ihtiyacı duymuşlardır. Bu durum da deşarj yapılarının boyutunu ve dolayısıyla maliyetini arttırmıştır.

Rezervuara giren büyük taşkın debilerinin deşarjı dolusavak savak uzunluğunun artırılması veya dolusavak üzerindeki proje su yükünün artırılması ile mümkündür.

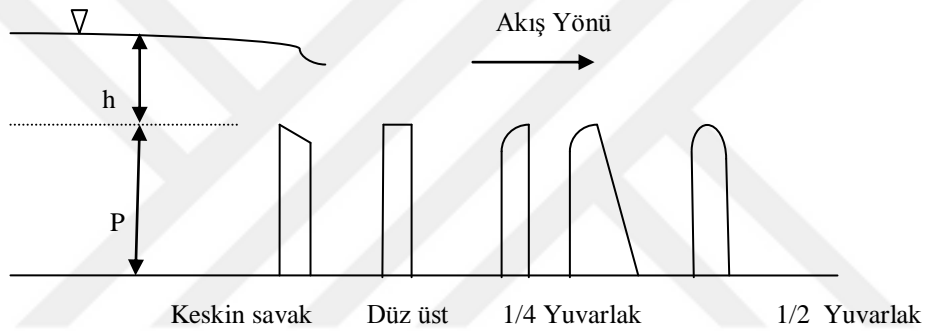
Son yıllarda dolusavaklarda deşarj kapasitesini arttırabilmek için labirent tipi dolusavakların tercih edilmesi de etkili bir yöntem olmuştur.

Labirent dolusavaklar belirli bir dolusavak genişliğinde doğrusal dolusavaklara göre planda çok daha uzun bir savak uzunluğu sağlayan dolusavak tipidir ve isimlerini geometrilerinden almaktadırlar. Toplam kret uzunlukları genellikle standart dolusavağın savak uzunluğunun üç - beş katıdır. Deşarj kapasitesi ise doğrusal veya standart dolusavağın deşarj kapasitesinin yaklaşık iki katı olmaktadır (Tullis ve diğerleri, 1995).

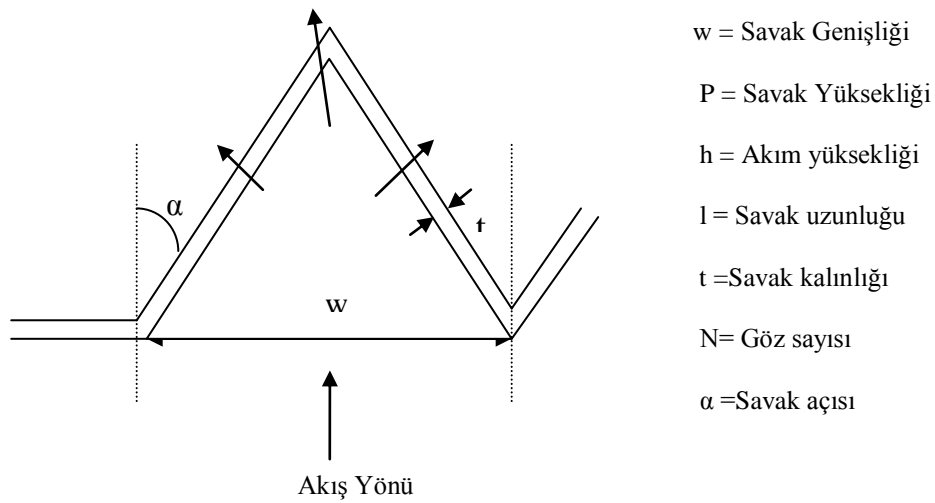
Kret uzunluğunda sağlanan bu artış labirent dolusavakların deşarj edilen debiyi arttırmasını ya da sabit bir debinin daha düşük su yüksekliklerinden geçirilmesini sağlar ve rezervuar su seviyesini düşürür. Bu savaklar özellikle topografyanın dolusavak genişliğini sınırlandırdığı alanlar için avantajlıdır. Bunun yanı sıra kolay inşası ve geleneksel savaklara göre daha güvenilir olması labirent dolusavakların tercih edilme sebebidir.

Labirent dolusavaklar belirli bir kret kotunda ve dolusavağın yerleştirileceği genişlik değiştirilmeden deşarj kapasitesini arttırmak amacıyla tercih edilir. Çünkü labirent dolusavaklar savak kotunu yükselterek deşarj kapasitesini düşürmeden rezervuarın depolama kapasitesini arttırmayı amaçlar. Yine barajlardaki dolusavak kapasitesini arttırmak için labirent savaklar kullanılır. Bu sayede yetersiz dolusavak kapasitesi nedeniyle meydana gelen baraj hasarları azaltılmış olur.

Labirent dolusavak tasarımında dikkate alınması gereken değişkenler uzunluk, ℓ , labirent genişliği, w , savak yüksekliği P , labirent açısı, α , göz sayısı, N , ve duvar kalınlığı, t , ve savak şekli gibi birkaç daha az önemli değişken de vardır. Şekil 1’de bir labirent dolusavağa ait plan ve kesit görünüşü verilmektedir.



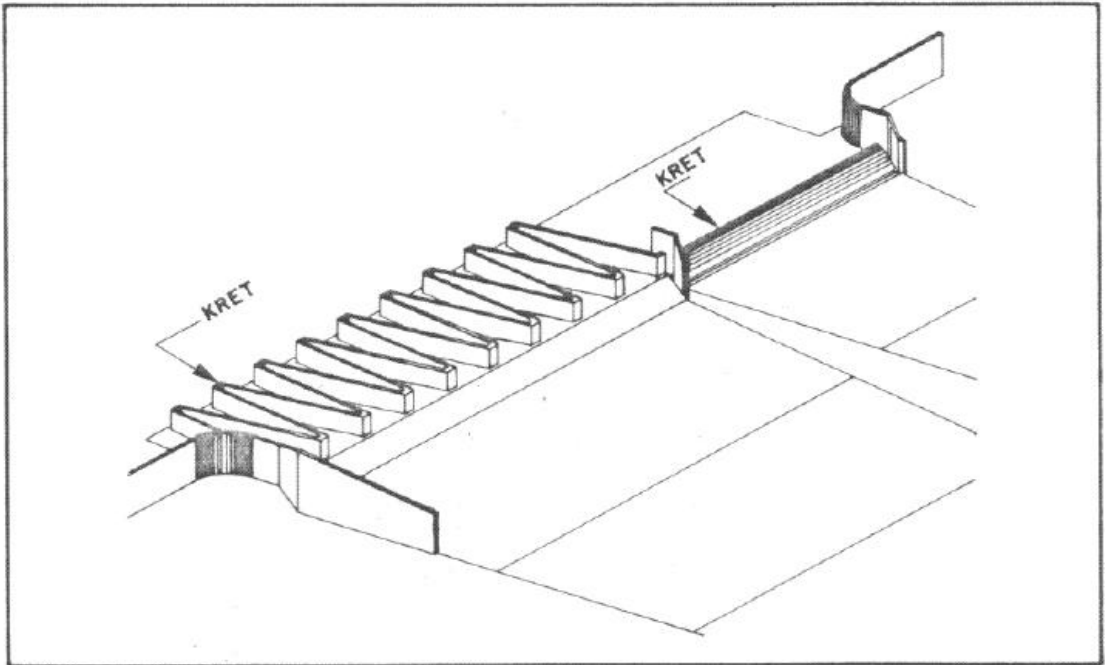
a) Kesit Görünüşü



b) Plan Görünümü

Şekil 1.1. Tipik bir üçgen labirent dolusavak modeli

Labirent dolusavaklar geleneksel dolusavaklarla karşılaştırıldığında akımı daha güvenli bir şekilde deşarj edebilmektedir. Labirent tasarımı aynı zamanda mevcut olan işletmesi devam eden bir barajın kapasitesini ve taşkın deşarjını arttırmaktadır. Bu tasarım özellikle yüksekliğin ve topoğrafyanın sınırlı olduğu alanlarda en etkili çözümlerden biridir. Yine de farklı şekli ve karmaşık akım modeli uygulamada kullanım cesaretini biraz kırmıştır. Ancak 1970 'den beri birçok model test edilmiştir. Karışık formundan dolayı labirent dolusavaklarda akımı etkileyen pek çok faktör vardır. Labirent dolusavağın performansını belirleyen temel faktörler, maksimum debi ve savağın üzerinden geçen su yüküdür. Duvar yükseklikleri 1m ' ye kadar olan labirent dolusavaklar için yapının projelendirilmesi ve inşasının daha kolay olduğu ancak daha büyük boyutlardaki labirentler için daha fazla analize ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. ABD' de USBR tarafından inşaa edilen Ute barajının 9,14 m yüksekliğindeki labirent dolusavağının projelendirilmesi ve inşası büyük boyutlardaki labirent dolusavaklar için önemli bir örnek olmuştur (DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 1993). Şekil 1.2' de bir labirent dolusavak projesi örneği görülmektedir.



Şekil 1.2. Bir labirent dolusavak ve kontrolsüz dolusavak (DSİ Genel Müdürlüğü Yayın No: Hİ-862)

Labirent dolusavaklarda kret uzunluğu artmaktadır. Bu da dolusavaktan deşarj edilen debiyi arttırmaktadır. Labirent dolusavaklar büyük debileri küçük su yükünde geçirebilme özelliğine sahip olduğundan dolayı bu yapılar daha çok uygulama olanağı

bulmaktadır. Bu tip dolusavaklar genellikle arazide dolusavağın yerleştirileceği bölgenin kısıtlı olduğu veya rezervuardaki taşkın hacminin sınırlı olduğu bölgeler için uygulanmaktadır. Labirent dolusavaklar nehir – kanal santrallerinde ve kanallar için derivasyon yapılarında da kullanılmaktadır (DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 1993). Tüm bu avantajlardan dolayı labirent dolusavaklar baraj inşaatında tercih nedenlerindedir.

Bu çalışmada, üçgen plan görünümüne sahip labirent savakların hidrolik karakteristikleri çeşitli uzunluklarda laboratuvarında deneysel olarak analiz edilmiştir.

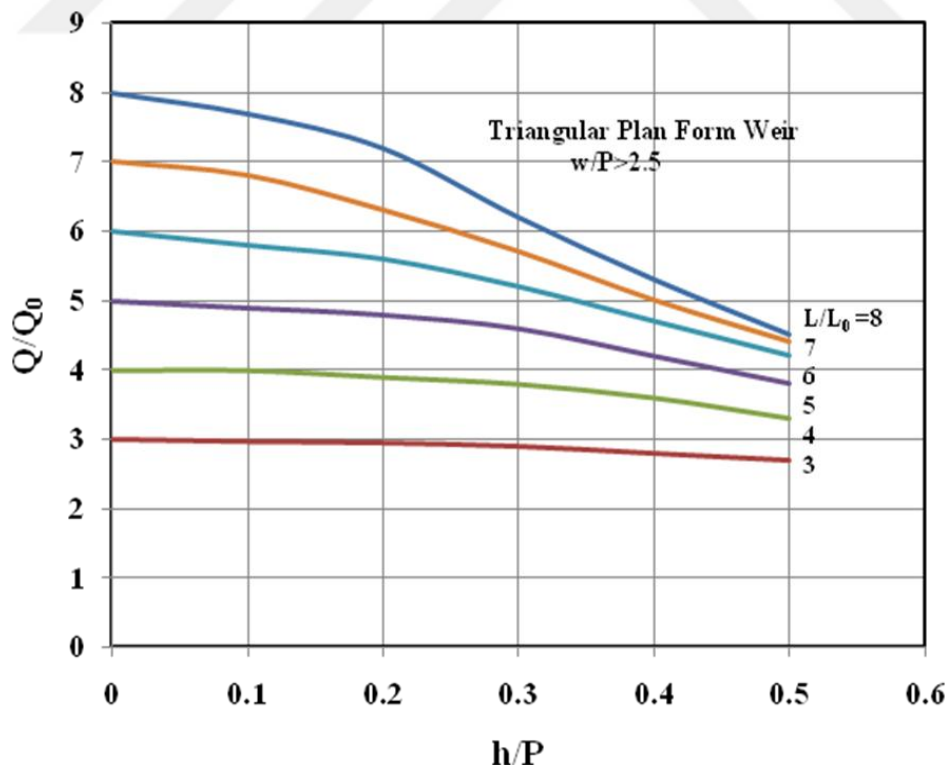
Bir sonraki bölümde literatür araştırması sunulmuştur. Daha sonra teorik çalışmadan bahsedilip labirent dolusavaklar üzerindeki akım koşullarından boyut analizi ve h-Q denkleminin çıkarılmasından bahsedilmiştir. Laboratuvarında farklı geometrik şekillerde ve $Q = 10-100$ l/s debi aralığında üç farklı savak yüksekliğinde, $P= 15$ cm, $P=22.5$ cm ve $P=30$ cm) ölçülen değerlere karşılık h-Q grafikleri çizilip karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, ticari bir yazılım programı olan FLOW-3D de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Labirent dolusavakların hidrolik performansı ile ilgili ilk kapsamlı çalışma Hay ve Taylor (1971) tarafından yapılmıştır. Taylor aynı kanal genişliğine sahip keskin kesitli lineer bir savak için akışı Q_0 , labirent savak akışı için Q , olarak belirlemiş ve Q/Q_0 oranının büyüklüğü açısından sonuçları göstermiştir.

Hay ve Taylor (1971) üçgen ve ikizkenar yamuk şeklinde labirentler üzerindeki debi tahmini için kriter içeren, labirent savaklar için bir tasarım prosedürü yayınlamıştır. Labirent savak performansının, aynı kanal genişliğini işgal eden düz savak olarak tanımlanan lineer savağa uygulanması açısından çok iyi bir çözüm olabileceğini belirtmişlerdir. Hay ve Taylor, Q/Q_0 oranına karşılık h/P 'ye karşılık savak üzerindeki su yükünün savak yüksekliğine oranı olan h/P 'ye karşılık çizerek, bunların savak boyu ile değişimini bir grafik halinde vermişlerdir.

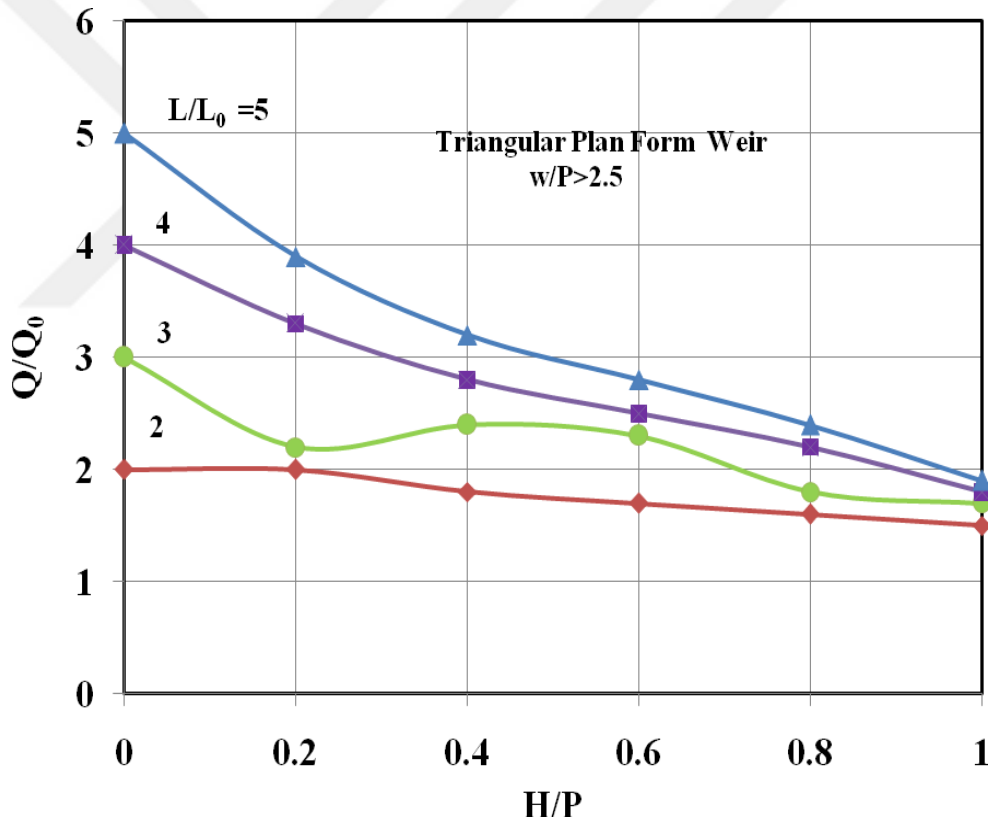
Şekil 2.1 'de, 0 ila 0.5 aralığında değişen h/P değerleri için, $L/L_0 = 3, 4, 5, 6, 7$ ve 8 büyüklüklerine karşılık gelen Q/Q_0 büyüklükleri çizilmiştir. Burada L , kullanılan kanal uzunluğu, L_0 , kanalın genişliğidir. Bu egride Q/Q_0 oranı ile L/L_0 oranının doğru orantılı olarak artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 2.1. Hay ve Taylor tasarım eğrileri (Hay ve Taylor, 1971)

Darvas (1971) benzer bir çalışmayı ikizkenar bir labirent dolusavak planı için uygulamış, Hay ve Taylor'ın çalışmalarına benzer sonuçlar bulmuşlardır.

1981 yılında ABD'de inşa edilen UTE barajı için bir model çalışması yapılmıştır (USBR, 1982). Amerika Birleşik Devletleri Rehabilitasyon Bürosu, USBR (United State of Bureau of Reclamation) daha ekonomik bir alternatif geliştirerek, barajın dolusavak yapısının üzerine yeni labirent dolusavak yapısı eklenerek rezervuarın kapasitesinin arttırmayı talep etmiştir. Froude benzeşimi kullanılarak bir model çalışması yapılmış ve proje tasarım debi büyüklüğü, Q/Q_0 olarak boyutsuz oranlarda çizilmiş ve tasarıma ait H/P ye karşılık Q/Q_0 grafikleri çizilmiştir. Toplam akım yüksekliği yükü H , ve savak yüksekliği P olarak verildiği grafik Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. USBR Tasarım Eğrileri

New Mexico' daki Ute Barajı dolusavağı da yine labirent dolusavak uygulaması ile USBR tarafından rehabilite edilmiştir. Ute Barajı 1962 yılında tamamlanmış olup 37 m yüksekliğindedir. Barajın ilk dolusavağı kapaksız ogee tipinde olup 256 m kret uzunluğuna sahiptir.

Barajın orijinal proje durumundaki rezervuar kapasitesi, rezervuarın tam depolama ile kullanılmasına imkan vermiştir. Bu nedenle kapaklı ve kapaksız dolusavak alternatifleri üzerinde çalışma yapan USBR, en ekonomik alternatifin bir labirent dolusavak inşaatı olduğuna karar vermiştir. Labirent dolusavak maliyeti 10×10^6 US\$ kapaklı ogee profili dolusavak maliyeti ise 34×10^6 US\$ olarak belirlenmiştir. Daha ekonomik olduğu düşünülerek labirent dolusavak yapımı tercih edilmiştir.

Hidrolik model çalışmaları ile test edilen labirent dolusavak 9.1 m yüksekliğinde, 18,3 m göz genişliğinde ve 73.2 m kret uzunluğunda 14 adet göze sahiptir. Dolusavağın maksimum proje debisi $15600 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimum su yükü ise 5,8 m' dir. Hay ve Taylor' ın orijinal tasarımı 10 gözlü labirent dolusavağı gözönüne alınarak yapılmıştır.. Ancak burada labirent savak 14 adet üçgen göz şeklinde analiz edilmiştir. 14 gözlü labirent dolusavak için laboratuvarda akış testi yapılmış ve başarılı bir debi ve su yüzeyi yüksekliği elde etmişlerdir. Hay ve Taylor'un aynı savak şeklini kullandıkları için onun sonuçlarını da doğrulamışlardır.

Benzer bir çalışma ise Hyrum barajı için yapılmıştır. Bu baraj Little Bear nehri üzerinde olup ABD'nin Utah eyaletindedir. Yapımı 1935 yılında tamamlanmıştır. 164.6 m uzunluğunda ve 15.24 m genişliğindedir. Dolusavak kapasitesi $158,6 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Rezervuar öncelikli olarak sulama suyu sağlamak amacıyla yapılmıştır fakat mevcut hidrolik yapı ile deşarj edilmesi gereken debi deşarj edilememiştir. Deşarj edilmesi gereken ama edilemeyen fazla kısmını geçirmek için yardımcı bir labirent dolusavak düşünülmüştür. 1983 yılında Utah' daki Hyrum barajı için yapılan tasarım ile taşkın debisi deşarj edilebilmiştir. Bu çalışma ile hidrolik model çalışmasına dayanılarak gerçekleştirilen, maksimum rezervuar yüksekliğinde maksimum debiyi deşarj edebilmek için labirent dolusavakların en iyi alternatiflerden biri olduğunu kanıtlamışlardır. Kullanılan labirent dolusavak projesi ile barajın deşarj kapasitesi $278.39 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye ulaşmıştır.

Sonuç olarak bu analizle Hyrum labirent dolusavak modeli iyi bir yaklaşım kanalının, dolusavak kapasitesine etkisi olduğunu göstermiştir. Burada plan görünüşleri farklı olan dik köşeli, keskin girişli labirent dolusavak girişleri test edilmiştir. Her bir akım şartlarında labirent dolusavağın etkisi de araştırılmıştır. Testler Hay ve Taylor' ın

geliştirdiği labirent dolusavak prosedürüne dayanmaktadır. Hyrum labirent modeli dolusavak üzerindeki yaklaşım durumlarının etkisini çalışabilmek için bir fırsat olmuştur.

İlk tasarımda labirent dolusavak boyları aynı tutulmuş, birinde ise yaklaşım kanalında eğim verilmiştir. Eğimli olan yaklaşım kanalında % 4 kadar daha yüksek bir deşarj sağlamıştır. En uygun çözüm ise geniş kavisli giriş ile rezervuara doğru eğimli olarak uzanan dolusavak yapısı minimum yükseklik kaybı ve düzgün bir akım şekli sağlamıştır.

1983 yılında ise Richard Barajı labirent dolusavak modeli yapılmıştır (USBR, 1983; Vermeyen ve diğerleri, 1991). Bu çalışmanın sonuçları da Ute Barajı ve Hyrum Barajı sonuçlarına benzer çıkmıştır.

USBR tarafından model çalışmaları yapıldıktan sonra yerinde uygulaması inşaa edilen Hyrum Barajı, Ute Barajı ve Richard Barajı'larına ait özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Ritschard, Hyrum ve Ute barajlarının labirent savak karakteristiklerinin karşılaştırılması

| Tasarım Parametresi | Hyrum | Ritschard | Ute |
|---|--------------|------------------|------------|
| Toplam genişlik, w (m) | 60 | 275 | 840 |
| Kret Uzunluğu, L (m) | 300 | 1350 | 3360 |
| Savak yüksekliği, P (m) | 12 | 10 | 30 |
| Tasarım yüksekliği, H _o (m) | 5,50 | 9 | 18,96 |
| H _o /P oranı | 0,46 | 0,9 | 0,63 |
| Göz sayısı, N | 2 | 9 | 14 |
| Savak açısı, α (°) | 8,93 | 8,13 | 12,03 |
| Kalınlık, t (cm) | 30 | 30 | 30 |
| Toplam tasarım debisi, Q(m ³ /s) | 9,05 | 54,9 | 15,206 |

Yukarıda da belirtildiği gibi labirent dolusavaklar deşarj kapasitesini artırdığı ve mevcut bir baraja da uygulanabildiği için uygulamada yer bulmaktadır. Tablo 2.2'de bazı ülkelerde uygulaması yapılan labirent dolusavaklar listelenmiştir.

Tablo.2.2. Çeşitli ülkelerde uygulanan labirent dolusavakların proje karakteristikleri

(DSİ Genel Müdürlüğü Yayın No: Hİ-862)

| ÇEŞİTLİ ÜLKELERDE İNŞAA EDİLEN BAZI LABİRENT DOLUSAVAKLARIN PROJE KARAKTERİSTİKLERİ | | | | | | | | | | |
|---|-------------|------------|-----------------------|-------|-------|----------|--------------------|-------|---------|----------------|
| BARAJ ADI | ÜLKE | İNŞAA YILI | Q (m ³ /s) | L (m) | W (m) | P (m) | H ₀ (m) | n | n*L | C _w |
| DOLUSAVAKLAR | | | | | | | | | | |
| AVON | AVUSTURALYA | 1927* | 1790 | 26.46 | 13.54 | 3.00 | 2.80 | 10.00 | 265.80 | 1.46 |
| BARTLETTS FERRY | ABD | 1983 | 5920 | 70.30 | 18.30 | 3.40 | 2.20 | 20.50 | 1440.00 | 1.26 |
| BELIA | ZAIRE | | 400 | 31.00 | 18.00 | 2-3 | 2.00 | 2.00 | 76.60 | 1.86 |
| BENI BAHDEL | MISIR | 1944 | 1000 | 62.50 | 4.00 | | 0.50 | 20.00 | 1550.00 | 2.26 |
| CARTY | ABD | 1977 | 387 | 54.60 | 18.30 | 2.8-4.3 | 1.80 | 2.00 | 109.20 | 1.46 |
| CIMIA | İTALYA | 1982 | 1100 | 87.50 | 30.00 | 15.50 | 1.50 | 4.00 | 350.00 | 1.73 |
| BOARDMAN | ABD | 1977 | 387 | 53.60 | 18.30 | 2.76-4.3 | 1.77 | 2.00 | 107.00 | 1.62 |
| DUNGO | ANGOLA | U.C | 576 | 28.56 | 9.73 | 3.5-4.3 | 2.40 | 4.00 | 115.50 | 1.33 |
| ESTANCIA | VENEZUELA | 1967 | 661 | 65.00 | 32.00 | | 3.01 | 1.00 | 65.00 | 1.95 |
| HARREZA | MISIR | 1983 | 350 | 28.56 | 9.73 | 3.5-4.5 | 1.90 | 3.00 | 86.90 | 1.55 |
| HYRUM | ABD | 1935** | 256 | 45.72 | 9.14 | 3.65 | 1.66 | 2.00 | 91.40 | 1.28 |
| JUTARNAIBA | BREZİLYA | 1983 | 862 | | | | 0.70 | | 700.00 | 2.08 |
| KEDDERA | MISIR | U.C | 250 | 26.31 | 8.92 | 3.5-4.2 | 2.46 | 2.00 | 53.80 | 1.2 |
| MERCER | ABD | 1972 | 239 | 17.60 | 5.50 | 4.60 | 1.80 | 4.00 | 78.50 | 1.26 |
| SANTA JUSTA | PORTEKİZ | Proje | 285 | 67.40 | 10.50 | 3.00 | 1.35 | 2.00 | 134.80 | 1.33 |
| SARNO | MISIR | 1952 | 360 | 27.90 | | 6.00 | 1.50 | 8.00 | 223.00 | 0.88 |
| UTE | ABD | 1962*** | 15574 | 73.15 | 18.29 | 9.14 | 5.79 | 14.00 | 1024.00 | 1.11 |
| WORNORA | AVUSTURALYA | 1941 | 1020 | 31.23 | 13.41 | 2.20 | 1.36 | 11.00 | 343.50 | 1.86 |
| MEMBA VEYA REZERVUAR SEVİYESİ KONTROL YAPILARI | | | | | | | | | | |
| NAVET | ABD | 1974 | 481 | 12.80 | 5.50 | 3.00 | 1.70 | 10.00 | 128.00 | 1.70 |
| QUINCY | ABD | 1973 | 552 | 26.50 | 13.60 | 4.00 | 2.10 | 4.00 | 106.00 | 1.71 |
| KANAL DERİVASYONU VE KORUMA YAPILARI | | | | | | | | | | |
| FORESPORT | ABD | 1988 | 76 | 21.90 | 6.10 | 2.94 | 1.02 | 2.00 | 43.80 | 1.68 |
| GARLAND CANAL | ABD | 1982 | 26 | 19.60 | 4.57 | 1.40 | 0.37 | 3.00 | 58.80 | 1.96 |
| QHAVC CANAL | Y.ZELANDA | 1980 | 540 | 37.50 | 6.25 | 2.50 | 1.08 | 12.00 | 450.00 | 1.07 |
| *1976 yılında yeni bir labirent inşaa edildi. | | | | | | | | | | |
| **1983 yılında bir yardımcı labirent savak projelendirildi. | | | | | | | | | | |
| ***1983 te yeni bir labirent savak inşaa edildi. | | | | | | | | | | |

Lux ve Hinchliff, 1985 yılında yaptıkları çalışmalar ile labirent dolusavağın özellikle sınırlı dolusavak genişliği olan yerlerde ve akım yüksekliğinin sınırlı olduğu durumlarda etkili olarak kullanılabileceğinin belirtmişlerdir. Labirent dolusavağın mevcut dolusavak yapılarına göre daha yüksek deşarj kapasitesi olduğu için daha güvenli olduğunu açıklamışlardır. Lux ve Hinchliff (1985) üçgen dolusavak modeli için w/P oranının etkisini eğrilerle göstermişlerdir. Aynı şekilde L/w oranının etkisini de eğrilerle göstermişlerdir.

Thompson 1987 yılında yaptığı çalışmada labirent dolusavakların geleneksel dolusavaklara kıyasla, dolusavak genişliğinde ek savak uzunluğu içerdiğinden ve bu durumda aynı debinin daha az su yüksekliğinde deşarj edilebildiğinden normalden daha

fazla debi geçişini sağladığından bahsetmiştir. Thompson, labirent dolusavakların özellikle debi sabitlendiğinde ve geniş debi ile uğraşılacağına kullanışlı olacağını söylemiştir.

Amanian (1987) savak yüksekliği, savak genişliği ve savak şeklinin labirent savakların performansı ve debi katsayısı üzerindeki etkisinin önemini belirtmiştir. Özellikler dolusavağın nap kısmının şekli ile çalışmalar yapan Amanian, keskin ve düz savaklar yerine akım şekline uygun yuvarlak kesitli savakları ve çeyrek daire şeklini tavsiye etmiştir.

Afshar (1988) labirent dolusavakların tasarımlarının geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır.

Waldron (1994) labirent savaklar üzerinde bir dizi deneyler uygulamış ve labirent genişliğinin, şeklinin, savak yüksekliğinin debi katsayısı üzerindeki etkisinin önemini vurgulamıştır.

Tullis ve arkadaşları (1995) labirent dolusavakların, 8° ila 35° arasında değişen savak açıları için P=15 cm ve 30 cm olmak üzere iki farklı savak yüksekliği için deneysel çalışma yapmışlardır. Bu araştırmaların en önemli bölümü Utah Su Araştırma Laboratuvarında incelenmiştir. Bu çalışmada farklı değişkenleri için 2.1 eşitliğinde verilen denklemden elde edilen debi katsayısı, C_d değerleri belirlenmiştir.

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2gH^{1.5}} \quad (2.1)$$

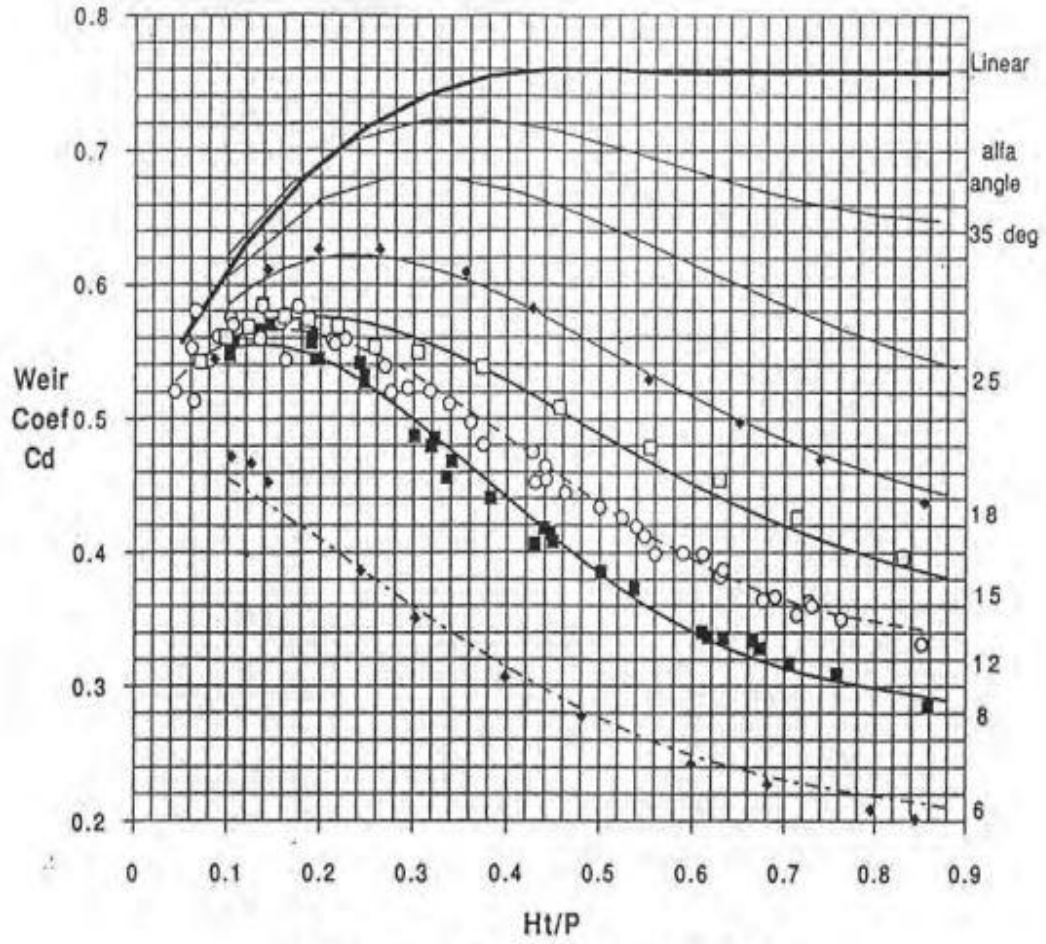
Burada;

- C_d : Boyutsuz debi katsayısı
- g : Yerçekimi ivmesi
- L : Savak Uzunluğu
- H : Toplam Su Yüksekliği

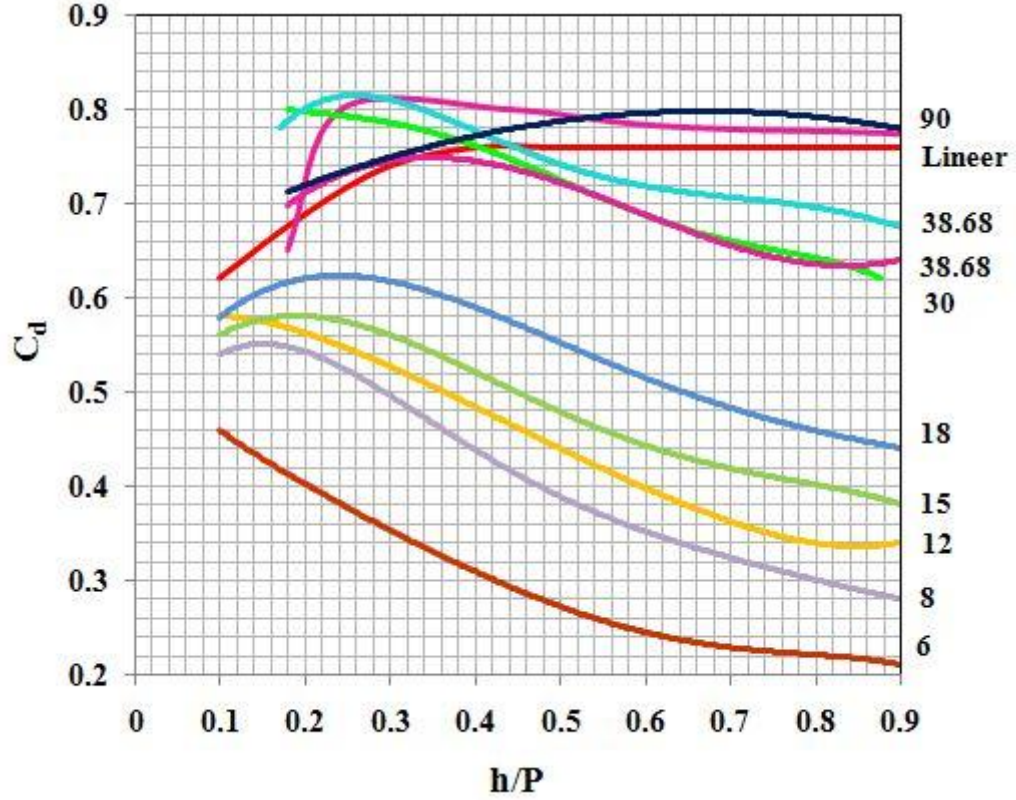
Tullis ve arkadaşları (1995) tarafından verilen mevcut verilere de uygulanan regresyon analizi ile Şekil 2.3 'te verilen eğriler elde edilmiştir. 6° ile 18° arasındaki eğriler, deneysel çalışmalara ait olup, 25° ile 35° arasındaki eğriler enterpolasyon ile elde edilmiştir. Deneysel çalışma ile elde edilen verilere uygulanan eğrilerin denklemleri ile gerçek ölçüm verileri arasındaki hesaplanan standard sapma $\pm 3 \% 6$

arasında olup maksimum % 6'dır. Lineer savak için C_d değeri, H/P 'nin 0.4'ten büyük değerlerinde maksimuma ulaşarak sabit $H/P = 0.76$ değerine ulaştığı görülmektedir.

Labirent savak için H/P değeri arttıkça C_d katsayısı azalmaktadır. Labirent dolusavağın etkinliğini artırmak için H/P ' katsayısını sınırlamak gerekir. Dolusavağın üzerinden geçen maksimum debi için H/P değeri 0.9 dan düşük olmalıdır.



Şekil 2.3. Labirent dolusavaklar için savak katsayısı (Tullis ve diğerleri., 1995)



Şekil 2.4. Labirent dolusavaklar için deneysel sonuçlara göre literatür karşılaştırması

Yıldız ve Kaş, (1997) ve Kumcu, (1997) labirent dolusavakların doğrusal dolusavaklara göre planda çok daha uzun kret uzunluğu sağlayan dolusavak tipi olduğunu, bu dolusavakların standard dolusavakların kret uzunluğunun üç veya beş katı olduğunu; deşarj kapasitelerinin ise standard savakların kapasitesinin yaklaşık iki katı olduğunu söylemişlerdir.

Ayrıca yan duvar açısı (α) ile dolusavak genişliği (w)'nin labirent dolusavağın maliyeti üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Yine labirent dolusavakların maliyetini ve genel yerleşimini etkileyen bir diğer önemli faktörün N göz sayısı olduğuna değinmişlerdir.

Blanc ve Lemperiere (2001) labirent dolusavakların çok ekonomik ve çok güvenli bir çözüm olduğunu gözlemlemiştir. $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ kadar taşkın ile tasarlanan birçok yeni baraj için ve mevcut birçok kapaklı baraj için güvenli bir çözüm olduğundan bahsetmiştir.

USBR tarafından 2001 yılında labirent dolusavakların tasarım ilkeleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarda savak şeklinin debi üzerindeki etkisinin önemini

vurgulamışlardır. Farklı savak yüksekliklerindeki savak şekillerini 1/4 yuvarlatılmış savak şekli ile karşılaştırmışlardır. Yapılan bu çalışmayla savak şeklinin debi katsayısına etki eden en önemli parametrelerden biri olduğunu göstermişlerdir. Bütün savak tiplerinde savak yüksekliğinin artmasıyla debi katsayısının azaldığını göstermişlerdir. Kullanılan savak tipleri arasında debi katsayısı açısından en uygun şekiller açısından bir sıralama yapıldığında 1/4 yuvarlak, 1/2 yuvarlak, keskin kenarlı ve düz savaklar şeklinde sıralandığını göstermişlerdir.

Ho ve arkadaşları (2001, 2003) FLOW 3D sayısal modellemesi kullanarak buldukları sonuçları deneysel bulgularla karşılaştırmışlar ve deneysel çalışmalar ile sayısal modelleme sonuçlarının benzer olduklarını görmüşlerdir.

Lemperiere ve Quamane (2003) iki model üzerinde çalışmışlar ve verilen bir kanal genişliği için savak boyu ve yüksekliği %10 arttırıldığında debi deşarj kapasitesinin yaklaşık %5 arttığını gözlemlemişlerdir.

Lemperiere ve Quamane (2003)'de labirent dolusavakların mevcut dolusavağın üzerine yerleşebileceğinden bahsetmişlerdir. Labirent dolusavağın kapasiteyi arttırdığını ayrıca inşasının daha kolay olduğunu söylemişlerdir. İki farklı çeşit modeli inşaat, hidrolik ve maliyet açısından kıyaslamışlardır. Sonuç olarak her ikisinde de mevcut barajların taşkın kapasitesi arttırılmış yeni baraj yapmak yerine kapasiteyi arttırarak daha ekonomik çözümler bulunmuştur. Houston 1983 yılında labirent geometrilerini değerlendirmek için kapsamlı bir fiziksel model çalışması gerçekleştirmiştir.

Lemperiere ve Qamane, 2003 yılında labirent savakları ekonomik açıdan değerlendirmiştir. Labirent savakların deşarj kapasitesini arttırmada, rezervuar kapasitesini arttırmada ve taşkın kontrolünü kolaylaştırmada çok etkili olduğunu ve deşarj kapasitesini her $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ' arttırmak için 0.5 m^3 beton ilavesinin yeterli olacağını tespit etmişlerdir.

Falvey' de 2003 yılında Tullis ve Lux tarafından yapılan çalışmaları geliştirerek labirent dolusavağın performansının daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Matos ve Chanson 2006 yılında, Lux ve Tullis (1995) 'in yaptığı deneysel çalışmaları FLOW-3D ile test etmiş ve deneysel çalışmalar ile FLOW- 3D çalışmalarının benzer olduğunu göstermişlerdir.

Paxon ve Savage (2006) son yıllarda hesaplamalı hidrolik alanındaki gelişmeler ile sayısal bir modelleme yaparak sayısal modellemelerde de dolusavak modellemesi yapılabileceğini göstermişlerdir.

Son 25 yılda labirent dolusavakların kullanımı özellikle Amerika'da önemli ölçüde artmıştır (Khode ve Tembhurkar, 2010).

Emiroğlu ve arkadaşları (2010) ince kenarlı savaklarda savak şeklinin debi katsayısına etkisini incelemişlerdir. Deneyler dört farklı kret şekli için yürütülmüştür. Kret şeklinin ve yüksekliğin debi üzerinde önemli etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak test edilen kret şekilleri arasında 1/4 yuvarlatılmış kret şekli için en büyük debi katsayısı değerleri elde edilmiştir. Ayrıca debi katsayısı için eşitlikler sunulmuştur.

Haddad ve arkadaşları (2010) yaptıkları araştırmalarında, dolusavakların inşaat maliyeti küçük barajlarda baraj inşaatının nerdeyse %20'si; büyük barajlarda ise %80'ine varan maliyetlere ulaştığını belirtmişlerdir.

Dolusavak tipinin seçimi, topoğrafya, jeoloji, hidroloji, baraj tipi ve bakım ve işletmenin beklenen güvenilirliği gibi farklı faktörlere bağlı olduğu Robertson'un 2014'de yaptığı çalışmasında belirtilmiştir.

Suprpto (2013) yılında yaptığı çalışmada keskin kenarlı labirent dolusavak için savak yüksekliğini düşürmeden mevcut barajda rezervuar kapasitesini arttırmak için labirent savakları kullanmıştır. Yaptığı araştırmada 6 çeşit labirent dolusavak şeklini bir açık kanalda test etmiştir. Deneyler boyunca çeşitli debiler için düz ve labirent dolusavağın her ikisinde de akım şartlarını gözleyerek labirent dolusavağın avantajlı olduğu göstermiştir. Özellikle trapez şeklindeki labirent dolusavak şeklinin yaklaşık %170 daha fazla akımı deşarj ettiğini gözlemlemiştir. Bu çalışmanın sonucunda labirent dolusavakların, baraj güvenliği açısından önemli bir alternatif olduğunu belirtilmiştir.

Hosseini ve arkadaşları (2014), labirent dolusavakların en uygun tasarımı için bir optimizasyon metodolojisi geliştirmişlerdir. Yapay zeka modeli ile labirent dolusavakların debi katsayısını, α ve H/P parametrelerini kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Model tam olarak üç performans endeksi düşünülerek farklı hidrolik durumlarda debi katsayısını tahmin etmektedir. Ayrıca geliştirilen metodoloji dolusavak yapısının toplam maliyetinin %20 kadar azaltacağını göstermiştir.

Labirent dolusavaklar ile dolusavak savak uzunluğu artırılarak belirli bir göl seviyesinde savaklanabilen debinin artırılması veya sabit bir debinin daha küçük kret su yükleri ile geçirilmesi sağlanarak, rezervuar su seviyesinin düşürülmesini amaçlanmıştır. Bu savaklar özellikle taşkın debisinin oluşturacağı rezervuar su seviyesi için mabadaki alanın kısıtlı olduğu veya topoğrafyanın dolusavak genişliğini sınırlandırdığı koşullarda avantajlar sağlayan bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Labirent savaklar üçgen, trapez ve dairesel şekilde inşa edilebilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Teorik Çalışma

Çalışmanın bu bölümünde, keskin kenarlı dolusavaklar için H-Q denkleminin çıkarılması verilmiştir.

Test edilen her model için dolusavak katsayısının sayısal değerleri ekte tablo halinde sunulmuştur.

3.1.2. H-Q Denkleminin Çıkarılması

Teorik analiz için kullanılan akım şartları Şekil 3.1 de verilmiştir. Herhangi bir enerji kaybının olmadığı kabulü yapılarak Şekil 3.1 de belirtilen 1 ve 2 noktaları arasında Bernoulli eşitliği yazılabilir.

$$h = (h - y) + \frac{u^2}{2g} \quad (3.1)$$

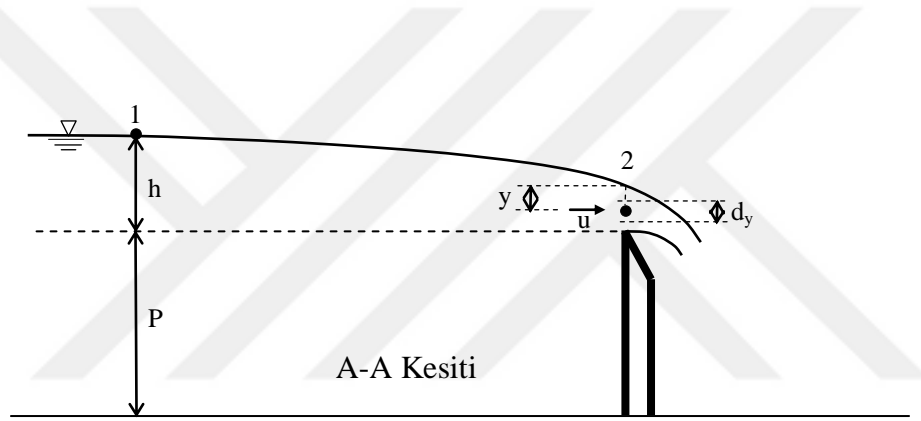
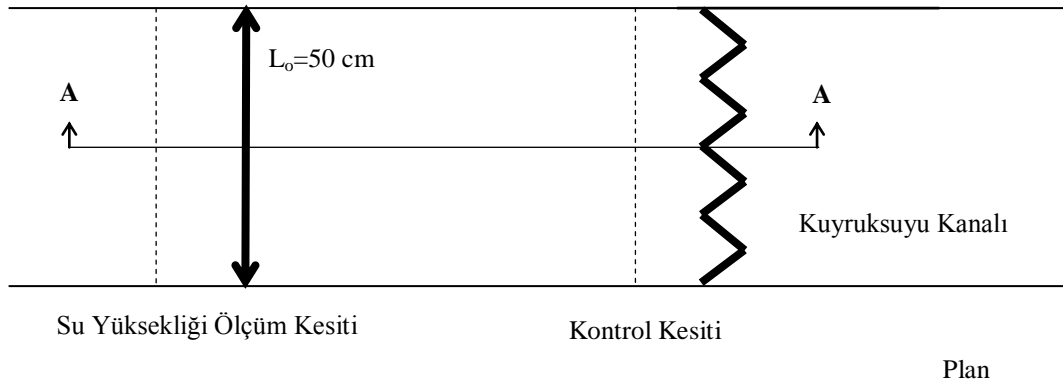
Bu eşitlikte h , 1 noktasındaki savak kretine göre su yüksekliği; y , 2 noktası ile su yüzeyi arasındaki düşey mesafe; u , 2 nolu noktadan geçen akımın hızı ve g yerçekimi ivmesidir. 1 No' lu noktada akımın hızı "sıfır" kabul edilerek ihmal edilmiştir. Savak üzerinden geçen teorik birim debi, q_t , için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$q_t = \int u dA \quad (3.2)$$

3.1 nolu eşitlik 3.2 nolu eşitlik de yerine konularak, daralmalar ve kayıplar ihmal edildiği için, q_t için;

$$q_t = \frac{2}{3} (2g)^{1/2} h^{3/2} \quad (3.3)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 3.1 Teorik analiz için tanımlanan kroki

3 Nolu eşitlik elde edilirken yük kayıpları ve akımın daralması ihmal edildiği için, gerçek debi hesaplanırken, teorik hesapla bulunan akım debisi belirli bir oranda azaltılmalıdır. Bu nedenle pratikte, akımın debisinin bulunabilmesi için teorik olarak bulunan debi denkleminin, savak katsayısı adı verilen C_d ile çarpılması gerekir.

$$q_t = \frac{2}{3} h^{3/2} C_d \sqrt{2g} \quad (3.4)$$

Daha önce yapılan çalışmaların pek çoğunda C_d katsayısının h/P ile olan değişimi analiz edilmiştir (Tulis ve arkadaşları, 1995).

3.1.3. Labirent Dolusavak Üzerindeki Akım Koşulları

Bu tip dolusavakların en önemli karakteristiği, plan şekillerinin doğrusal olmadığı ancak farklı plan şekillerinin tekrar tekrar kullanılmasıdır. Bu tip dolusavaklarda genellikle U, V ve trapezoidal plan şekilleri kullanılmaktadır. Dolusavak planında kullanılan bu formlar diğer dolusavaklara kıyasla farklı akım koşulları oluştururlar. İdeal olarak labirent üzerinden geçen debinin, dolusavak boyunun artışı ile doğru orantılı bir şekilde artması düşünülebilir. Ancak bu durum sadece savak üzerindeki alçak su yükleri için olasıdır.

Labirent savak üzerindeki su yükü arttıkça savaklanan akım 4 ana aşamadan geçer. Bu aşamalar, tam havalanmış, kısmi havalanmış, geçiş ve batık akım koşullarıdır. Akımın tam havalanması küçük su yüklerinde akımın tüm labirent kreti boyunca serbest olarak düştüğü durumlarda oluşur. Foto 3.1. ' de trapezoidal formdaki bir labirent dolusavakta bu koşullara sahip bir akım görülmektedir. Bu akım koşullarında nap kalınlığı ve kuyruksuyu derinliği dolusavağın deşarj kapasitesini etkilemez. Sonuç olarak labirent savak hemen hemen aynı düşey kesite sahip doğrusal bir savak gibi çalışmaktadır (DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 1993).



Foto 3.1. Labirent savak kretinden serbest olarak düşen akım (Kumcu, 1997).

Savak üzerindeki su yükü arttıkça özellikle nap ve labirent duvarı arasındaki mansap kuyruksuyu seviyesi de artar. Duvarlar üzerinden aşan napların birbirleriyle

girişimi, yüksek mansap su derinliği ve mansapta napın düştüğü dar alan nedeniyle napın havalanması güçleşir. Bu durum debi deşarj katsayısını düşürür.

Labirentin mansap bölümünde ve yan duvarların her bir kenarı boyunca sabit bir hava yastığı oluşur. Foto 3.2 Yüksek memba ve mansap su seviyelerinde nap kret boyunca değişik bölgelerde batar. Hava yastığı daha küçük hava yastığı parçalarına ayrılır ve nap içerisinde kararsızlık yaratarak duvar boyunca fasılalarla mansapa doğru hareket eder. Bu da geçiş akımının başlangıç koşuludur. Akımın geçiş durumu, akıma hava girişinin başladığı ve akıma havanın karışmadığı durumu arasındaki değişim ile karakterize edilir.



Foto 3.2. Kısımlı olarak havalandırılmış labirent savak kretinden serbest olarak düşen akım (Utah State University, Hydraulic research photo gallery).

Kısımlı havalandırılmış ve geçiş durumundaki akım arasındaki geçiş zamanını gözlemsel olarak belirlemek oldukça zordur. Ancak geçiş durumu debi deşarj eğrisinde oluşan süreksizlik ile kolayca belirlenebilir. Akım labirent savak kreti üzerinden havalanmamış olarak savaklanır. Mansap kanalında batık akım koşullarının olduğu durumda napın kalınlığı ve mansap su seviyesinin yüksekliği, havaya napın altından geçebilmesi olanağını tanımaz. Memba su seviyesi yükseldikçe akım koşulları labirent dolusavağın tamamen batık çalışmasına neden olarak etkili bir şekilde çalışmasını kısıtlar (DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 1993).

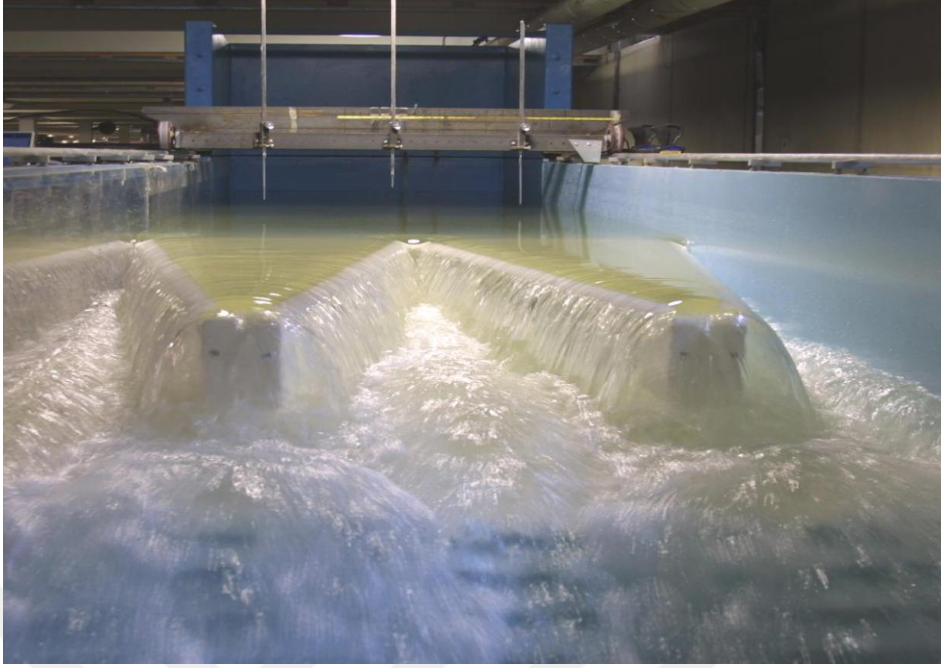


Foto 3.3. Labirent savak batık akım koşulları (Utah State University, Hydraulic research photo gallery).

3.1.4. Boyut Analizi

Labirent savak üzerindeki üç boyutlu akımın matematiksel olarak tanımlanması zordur. Deşarj kapasitesinin belirlenmesi için en uygun yöntem boyut analizi ve deneysel çalışmalardır. Boyut analizini basitleştirmek için model ölçeği ve hızlar, viskoz kuvvetlerin ve yüzey gerilmeleri etkilerinin ihmal edilebileceği şekilde yeteri kadar büyük seçilir. Bu durumda en önemli parametre $g = \frac{\gamma}{\rho}$ olan yerçekimi ivmesi olur.

Labirent savağının bir gözündeki akım koşulu ile diğer değişkenler denklem 3.5 'de verilmiştir.

$$L = 4A + 2B$$

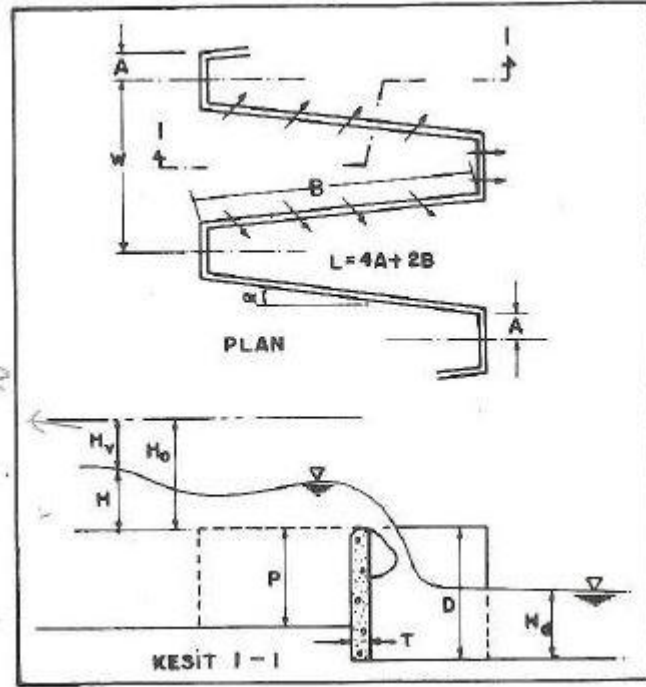
L= Kret uzunluğu

A= Ön duvar yüzü yarım uzunluğu

B= Yan duvar uzunluğudur.

Diğer parametreler ise labirent göz sayısı, bir gözden geçen debi ve savak kretinin yarıçapıdır. Bu parametreler kullanılarak her bir gözdeki debi aşağıdaki fonksiyon ile tanımlanabilir.

$$Q = f (L, A, W, P, D, T, H_0, H_d, g) \quad (3.5)$$



Şekil 3.2. Tipik bir labirent dolusavak plan ve kesiti

Bu fonksiyon, bağımsız değişkenler olmadığı için duvar uzunluğunu (B), yan duvarların göz eksenine yaptığı açısı (α) ve H_0 parametresi içerisinde yer alan piyezometre seviyesini (H), ve hız yüksekliği H_v değerlerini içermemektedir.

Labirentin plan şekli sadece kret uzunluğu L, göz genişliği W ve alın duvarı yarı uzunluğu A kullanılarak tanımlanabilir. Böylece duvar uzunluğu B, yan duvar açısı α , 3.5 nolu eşitlikte göz önüne alınmamıştır. Toplam yük H_0 ise labirent savağın kret kotuna göre akımın ; özgül enerjisi olarak tanımlanabilir. Bir gözdeki debi Q, göz genişliği W, ve duvarın memba yüksekliği P verildiğinde, H_0 ile tanımlanan toplam yük, labirent dolusavağın membasındaki piyezometre seviyesinin bir fonksiyonu olur. Bunun yanı sıra memba kanalındaki akımın nehir rejiminde olduğu kabul edilirse H ve H_v yerine

verilen toplam yük H_0 ve daha önce açıklanan parametreler için oldukça uygun bir çözüm bulunabilir.

Boyutsuz oranlar elde etmek için uzunluk ve zaman boyutu olan iki tekrar eden değişken seçilir. Kullanılan değişkenler yerçekimi ivmesi g ve toplam yük H_0 'dır. Bu boyut analizi sonucunda 3.5 nolu eşitlik boyutsuz olarak şöyle yazılabilir.

$$Q/W.H_0 \sqrt{g.H_0} = f [L/W, A/W, W/P, D/P, T/P, H_0/P, H_d/D] \quad (3.6)$$

3.6 nolu eşitlikte bağımlı fonksiyon debi katsayısı olarak ortaya çıkar. Böylece 3.6 nolu eşitlik debiyi belirlemek için aşağıdaki gibi tekrar yazılır.

$$Q = C.W H_0 \sqrt{g.H_0} \quad (3.7)$$

$$C = f [L/W, A/W, W/P, D/P, T/P, H_0/P, H_d/D] \quad (3.8)$$

3.7 nolu eşitlik savak üzerinden akışın genel formudur. Bu eşitliğin göz genişliği W 'yi, labirentin karakteristik uzunluğu olarak dikkate alması projelendirme açısından daha uygun olmaktadır.

3.8 nolu eşitlikte son iki boyutsuz oran hariç diğerleri verilen bir labirent için sabit boyutsuz oranlardır. Son iki oran ise memba ve mansap sınır koşullarını tanımlar (DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, 1993).

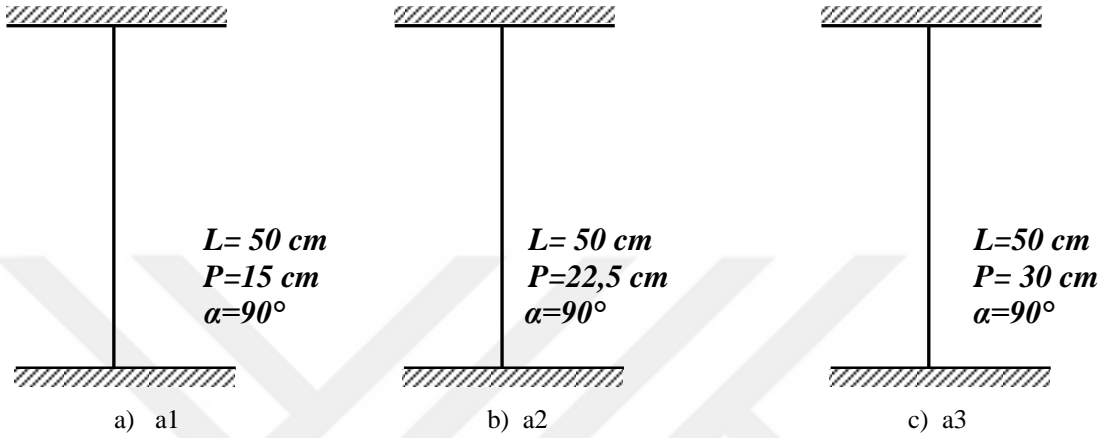
3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel Çalışma

Deneyler, boyu 7 m, genişliği 0.50 m ve derinliği 0.70 m olan dikdörtgen kesitli bir açık kanalda yapılmıştır. Yan duvarları ve tabanı beton olan kanalın son kısmına, deneylerde kullanılan ve fiberglastan imal edilmiş olan savaklar yerleştirilmiştir. Kullanılan modellerin şekilleri ve ilgili diğer parametreleri Şekiller 3.3.-3.7 ve Tablo 3.1. de verilmiştir. Test edilen a modeli akıma dik, savak boyu kanal genişliğine eşit olup, $L=50$ cm uzunluğunda, yatayla yaptıkları açılar $\alpha=90^\circ$ dir. Test edilen b modelinde ise $L=80$ cm olup α açısı $38,68^\circ$ dir. Savak modeli açılı düz tercih edilmiştir. Test edilen c serisinde $L=80$ cm olup α açısı $38,68^\circ$ dir. Savak modeli üçgen

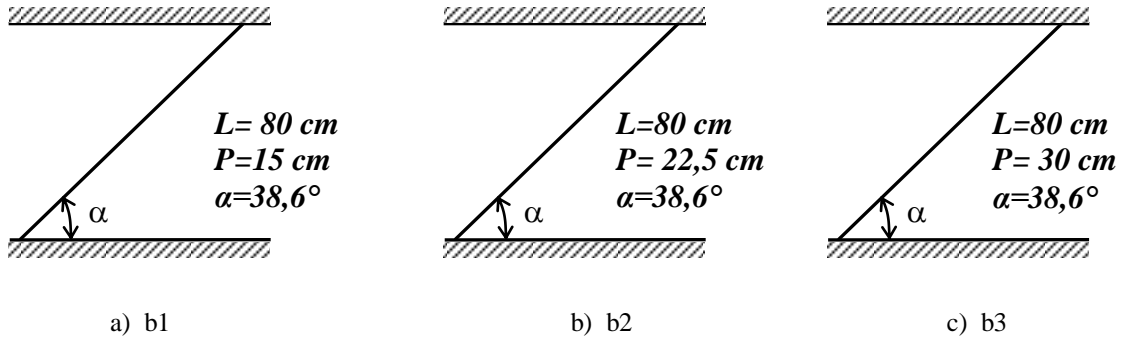
tek gözlüdür. Test edilen d serisinde savak modeli üçgen tek göz, $L=100$ cm ve savak açısı α açısı 30° dir. Test edilen e serisi yani son seride ise üçgen dört gözlü savak modeli tercih edilmiş ve $L=100$ cm 'dir. Savak açısı $\alpha= 30^\circ$. Şekillerde a, b, c ve d serileri için plan görünümleri verilmiştir.

a-serisi - düz

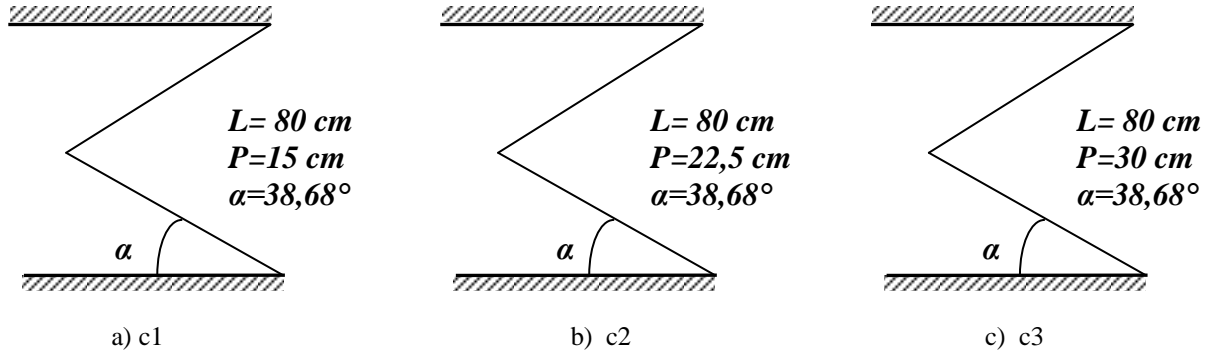


Şekil 3.3. Lineer savak plan görünümü

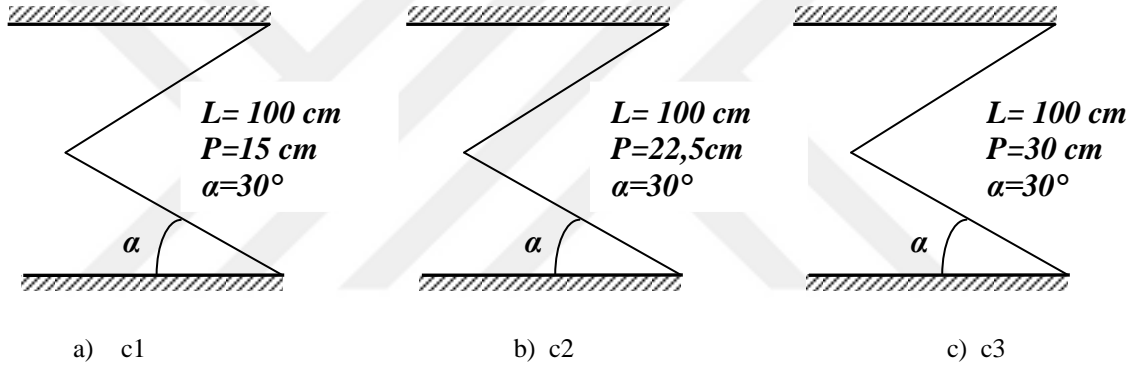
b-serisi – çapraz düz



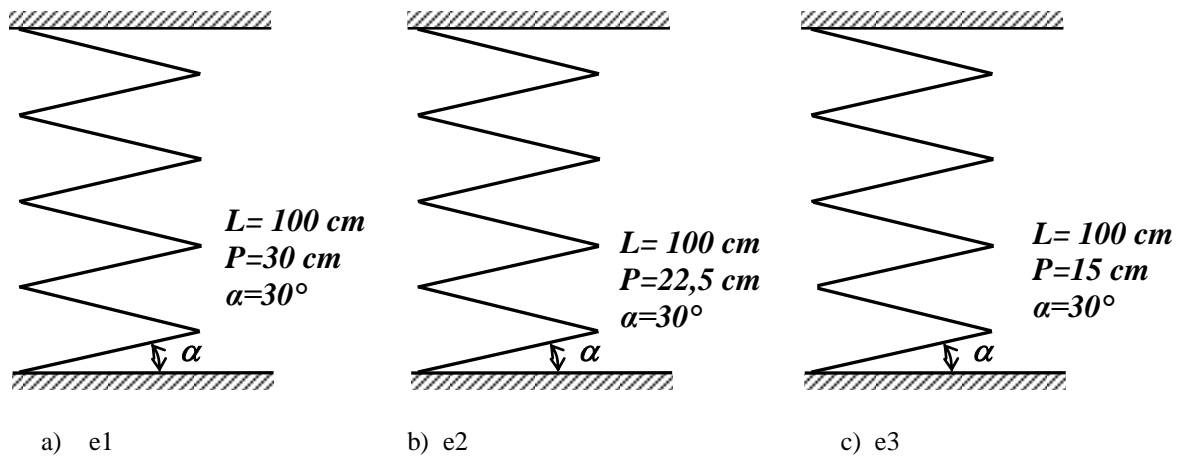
Şekil 3.4. Açılı düz savak plan görünümü

c-serisi-üçgen

Şekil 3.5. L=80 cm için üçgen labirent savak plan görünümü

d-serisi- üçgen

Şekil 3.6. L=100 cm için üçgen labirent savak plan görünümü

e-serisi- üçgen

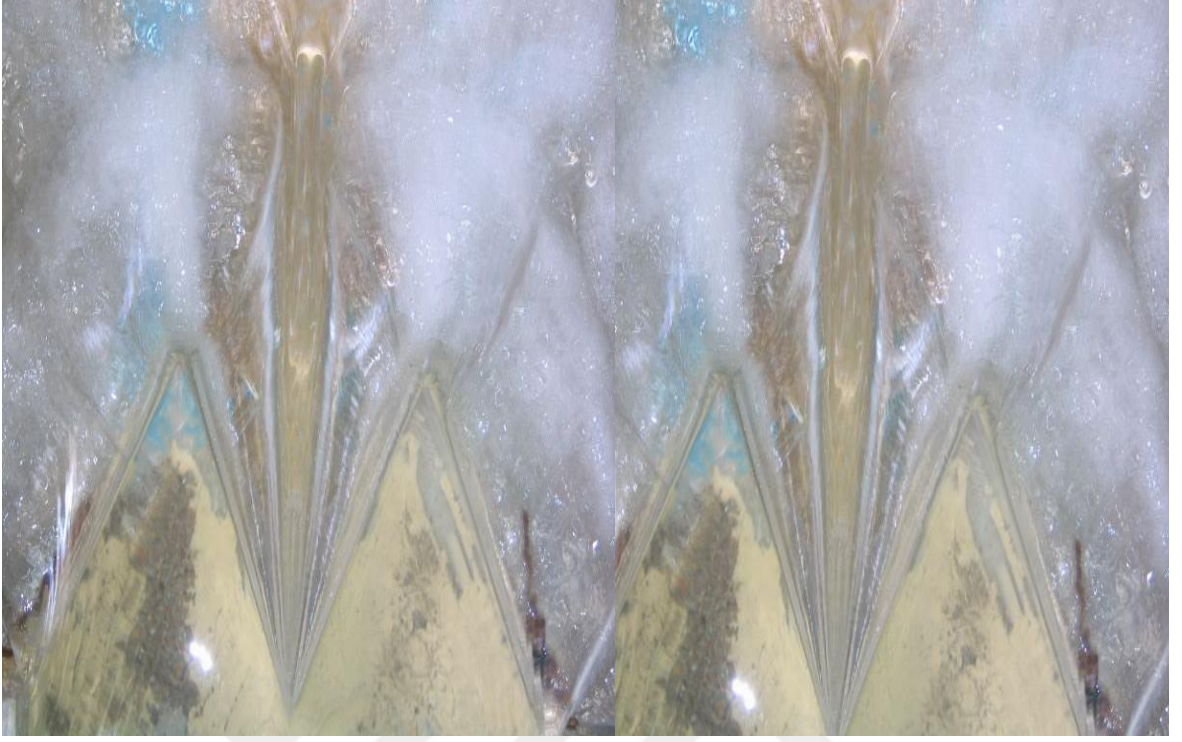
Şekil 3.7. L=100 cm için 4 gözlü üçgen labirent savak plan görünümü

Tablo 3.1. Test edilen savak modellerinin özellikleri

| Model Tipi | Kanal Genişliği (W) cm | Savak Yüklseklđi (P) cm | Savak uzunluğu (L) cm | Savak açısı (α) | Savak plan görünümü |
|------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| a1 | 50 | 15 | 50 | 90° | I |
| a2 | 50 | 22,5 | 50 | 90° | |
| a3 | 50 | 30 | 50 | 90° | |
| b1 | 50 | 15 | 80 | 38,68° | Z |
| b2 | 50 | 22,5 | 80 | 38,68° | |
| b3 | 50 | 30 | 80 | 38,68° | |
| c1 | 50 | 15 | 80 | 38,64° | M |
| c2 | 50 | 22,5 | 80 | 38,64° | |
| c3 | 50 | 30 | 80 | 38,64° | |
| d1 | 50 | 15 | 100 | 30° | M |
| d2 | 50 | 22,5 | 100 | 30° | |
| d3 | 50 | 30 | 100 | 30° | |
| e1 | 50 | 15 | 100 | 30° | W |
| e2 | 50 | 22,5 | 100 | 30° | |
| e3 | 50 | 30 | 100 | 30° | |

Yapılan her deneyde mambadan verilen debi, Q ve buna karşılık gelen su yüksekliği h ölçülmüştür. Deneyler her seri için ayrı ayrı Q = 10-100 l/s arasındaki debiler için limnometre sıfırına göre tekrarlanmıştır.

Bulunan sonuçlar FLOW-3D matematiksel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmaya ait görüntüler Foto 3.1’de görülmektedir.



a) 4 açıklıklı üçgen labirent dolusavak akım şartlarının üstten görünüşü



b)Deney düzeneği

Foto 3.2. Deneysel çalışmaya ait fotoğraflar: a) Üstten görünüş b) Model düzeneği

3.2.2. FLOW 3D ve Matematiksel Modelleme

Literatürde yapılan araştırmalarda, pek çok bilim alanında kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde (HAD), FLOW-3D matematiksel modellemelere sık sık rastlanmaktadır. FLOW-3D ile ilgili yapılan çalışmalar sonlu hacim metodu ile çözülmektedir. Bu yöntemle hava hareketi ihmal edilebilmektedir. Bu sayede de eleman hacminin küçük olması ihtiyacına gerek kalmamaktadır ve analiz süresi kısalmaktadır. FLOW-3D sayısal metodu, tanımlama yapmak için FAVOR metodunu kullanır. VOF (Volume of fluid-akım hacmi) metodu için herbir grid hücresinin doluluk veya boşluk oranını tanımlamak ve ön işlem (pre-process) kullanımı ile ön hata ayıklama işlemlerinin yapılmasını sağlar. Bu metod grid kullanan diğer programlara göre avantaj sağlar. FLOW-3D, hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücüsü olan, sonlu farklar metodu kullanarak birden fazla akışkan karışımını çözebilen matematiksel hesaplama yapan ticari bir programdır. İç içe kesişebilen veya birbirine eklenebilen ağ blokları oluşturarak, katı modelin tarifini yapıp, akışkan davranışları izlenebilmekte, kaydedilebilmekte, görsel ve yazılı dokümanlara ulaşılabilmektedir. Hidrolik modellemelerde özellikle sediment taşınımı modellerinde, açık kanal modellerinde, lineer, doğal ve düzensiz dalga modellerinde, farklı türbülans modellerinde, serbest yüzey, rüzgar etkileşimi modellerinde ve sığ su modellemelerinde iyi sonuçlar vermektedir. Pek çok çizim programında çizilen katı modeller, FLOW-3D içine aktarılarak, uygun sayıda kartezyen ağ ile tariflenerek, akım şartları da seçilerek çalıştırılabilmektedir.

Johnson ve Savage (2001), kontrolsüz USBR standart ogee tipli dolusavak üzerinde FLOW-3D kullanarak yaptıkları çalışmada dolusavaktan geçen debiyi ve savak üzerindeki basınçları hesaplamışlardır. HAD 'den elde edilen debi ve basınç sonuçları ile USBR ve USACE 'nin teorik sonuçlarını karşılaştırılmışlardır. Debi için buldukları FLOW-3D sonuçları ve fiziksel deney sonuçları, USBR teorik sonuçları arasında kalmaktadır. Basınç ölçümlerinde ise, FLOW-3D 'nin dolusavak kret üzerinde verdiği basınç değerleri, fiziksel deney sonuçları ve USBR teorik değerleri ile örtüşmektedir.

Boyes v.d., (2003) kret üzerinde oluşan basıncı ve kret üzerinden geçebilen debiyi iki boyutlu ve üç boyutlu olarak FLOW-3D'de USAC (University Studies Abroad Consortium) verileriyle karşılaştırmışlardır. Verilerin birbirleri ile benzer olduğunu göstermişlerdir. İki boyutlu analizlerde kret üzerindeki debi değerleri teorik

değerlere göre %10 ila %20 arasında daha fazla çıkmıştır. Üç boyutlu çalışmadan alınan sonuçlar, iki boyutlu çalışma sonuçlarına kıyasla daha iyi sonuç vermektedir.

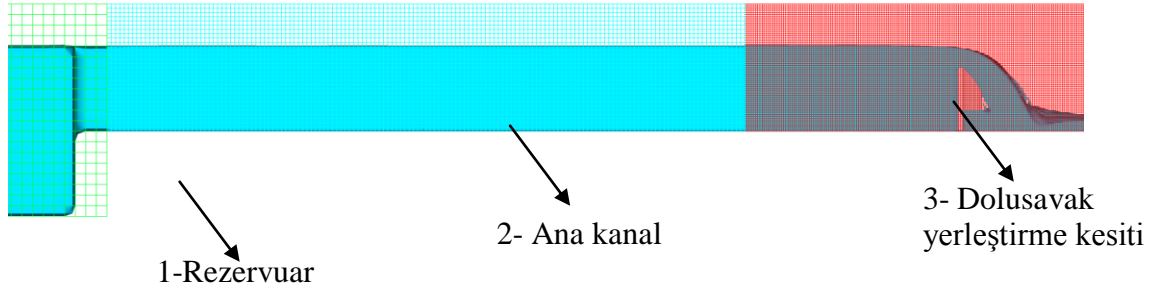
Cooper ve arkadaşları (2006) Avusturalya da sekiz adet dolusavak üzerinde FLOW-3D çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmanın debi ölçümleri ile fiziksel modelleme sonuçları kıyaslandığında, bulunan değerler %0 ile %5 arasında benzer bulunmuştur. Sonuçlarda genel olarak basınç eğiliminde de benzerlik görülmektedir. Çalışmalarında, dolusavakların iyileştirilmesinde, FLOW-3D 'nin kullanılmasının güvenilir, kolay ve uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

FLOW-3D modellemesinde, çalışma şartların hassasiyeti dikkate alınarak, çalışma alanı istenilen parçaya bölünebilmekte ve istenilen sayıda ağ hücresi sayısı ile tanımlama yapılabilmektedir (Willey ve arkadaşları, 2012). Böylece çalışma alanının her alanı aynı ağ sayısına bölünmemiş, programın daha hızlı çalışarak istenilen yerlerde daha hassas çalışması sağlanabilmektedir. Bu şekilde kurulmuş bir model çalışması ile, günlerce beklenilerek elde edilecek sonuçlara birkaç saat gibi daha kısa sürede ulaşılabilmektedir.

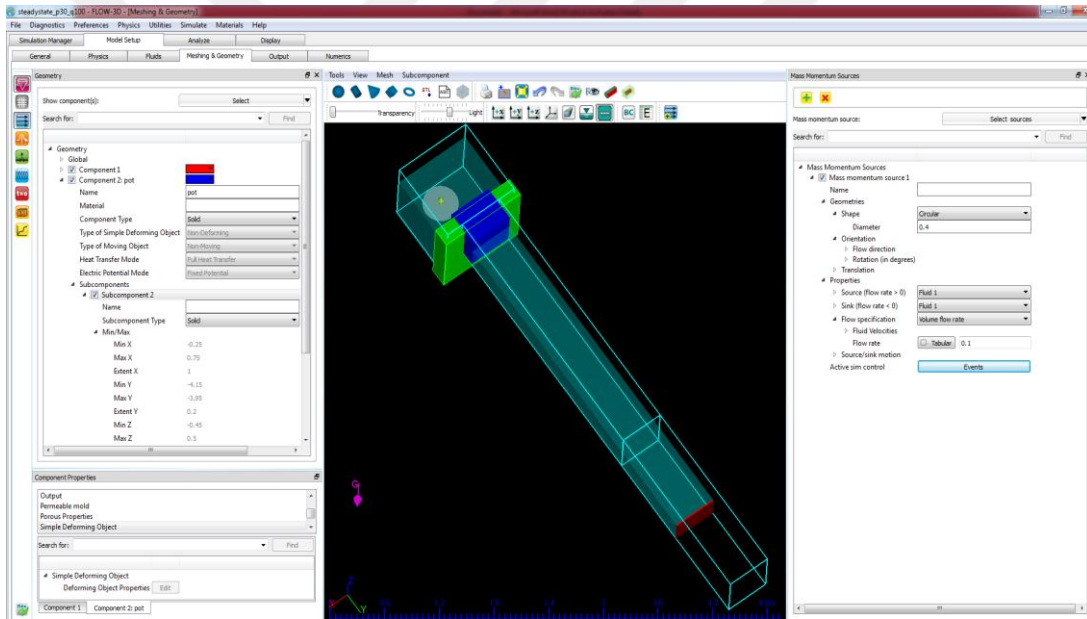
Bu çalışma kapsamında deneysel çalışmada kullanılan model çeşitleri FLOW-3D matematiksel metod yöntemi ile test edilmiş ve sonuçlar deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın FLOW-3D matematiksel modelleme bölümünde, ölçüm noktalarının hassasiyeti dikkate alınarak, modelin ağ hücre yapısı üç adet parçadan oluşturulmuştur. Bunlar:

- **Akımın kanala verildiği rezervuar kısmı:** Akım şartlarının uniform olmasını sağlamak amacı ile rezervuar kısmında akım tabandan yavaş yavaş noktasal bir kaynaktan doldurulmuştur.
- **Ana kanal:** Akımın uniform akması için yeterli uzunlukta olan, debinin artırılması ile akımın geçtiği bölüm.
- **Savak yerleştirilme bölmesi:** Lineer ve labirent dolusavağın yerleştirildiği, kanal boyunca akımı etkileyen bölüm.

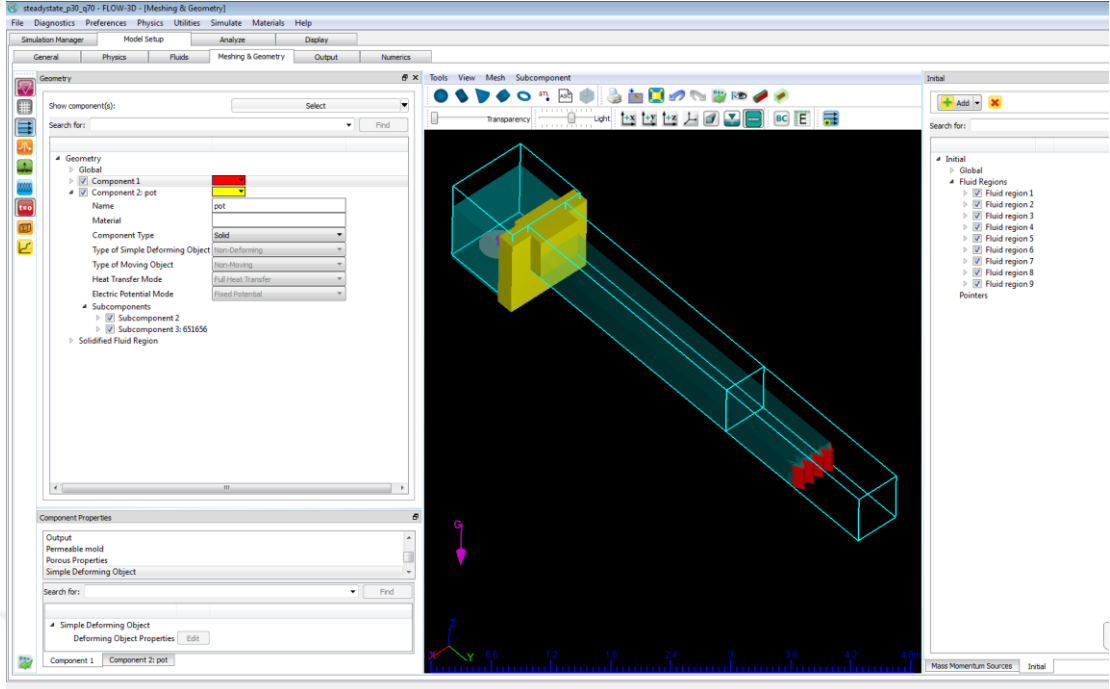
Bu şekilde hassas bir modelleme yapılarak çalıştırılan program, ağ hücre yapısı model çalışma süresini etkilediği için, her bir modelleme için ortalama üç gün sürmüştür. Bu bölümlerin verildiği ağ yapısı Şekil 3.8'de, modelden elde edilen örnek resimler ise Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8. Lineer ve labirent dolusavaklara ait FLOW-3D model ağ yapısı

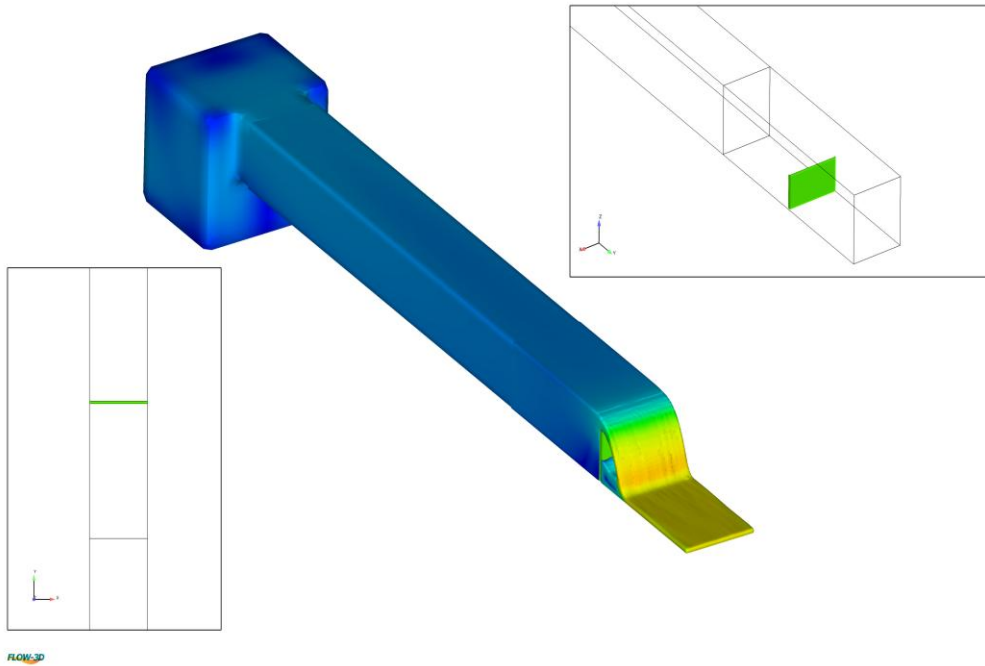


a) Lineer savak için kurulan model düzeneği



b) Labirent savak için kurulan model düzeneği

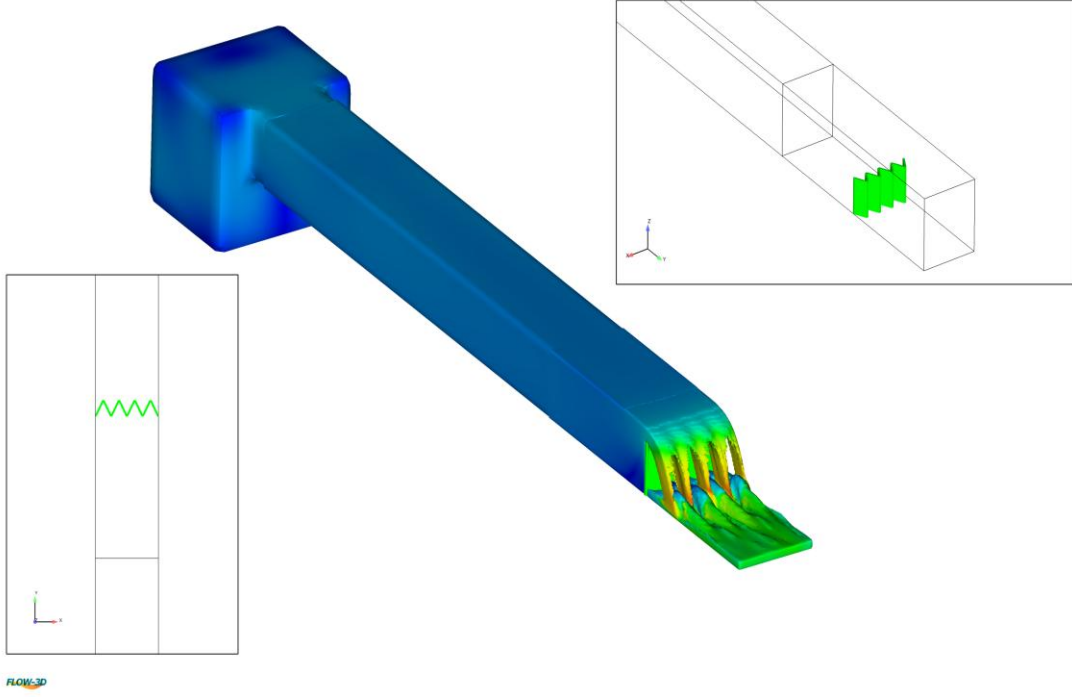
Lineer savak profil görünüşü



Lineer savak plan görünüşü

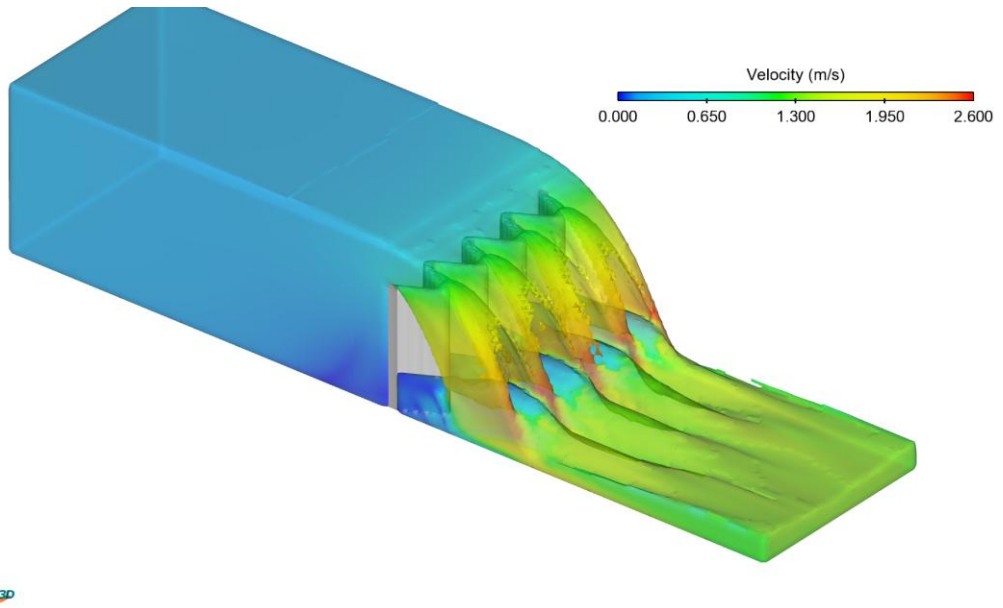
c) Lineer savak modelinin profil ve plan görünüşü

Labirent savak profili



Labirent savak plan görünüşü

d) Labirent savak modelinin profil ve plan görünüşü



e) Labirent savak akım akım şartları

Şekil 3.9. Lineer ve labirent dolusavaklara ait FLOW-3D model düzeneği (a, b, c, d, e)

Flow-3D Model düzeneği ile deneysel çalışma şartlarında aynı deneyler tekrar test edilmiştir. $Q=10 - 100$ lt/s arasında $10'$ ar lt/sn artırarak hem lineer dolusavak şekli hem de 4 açıklıklı labirent dolusavak şekli test edilmiştir. Kullanılan labirent dolusavak özellikleri:

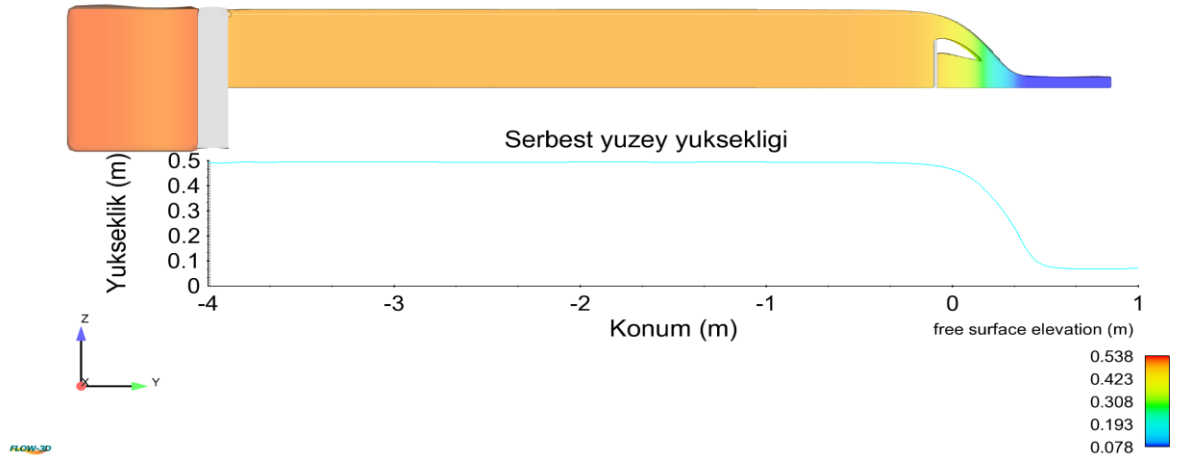
P: Savak yüksekliği =30 cm

L: Savak boyu= 100 cm

N: Açıklık sayısı= 4 adet'dir.

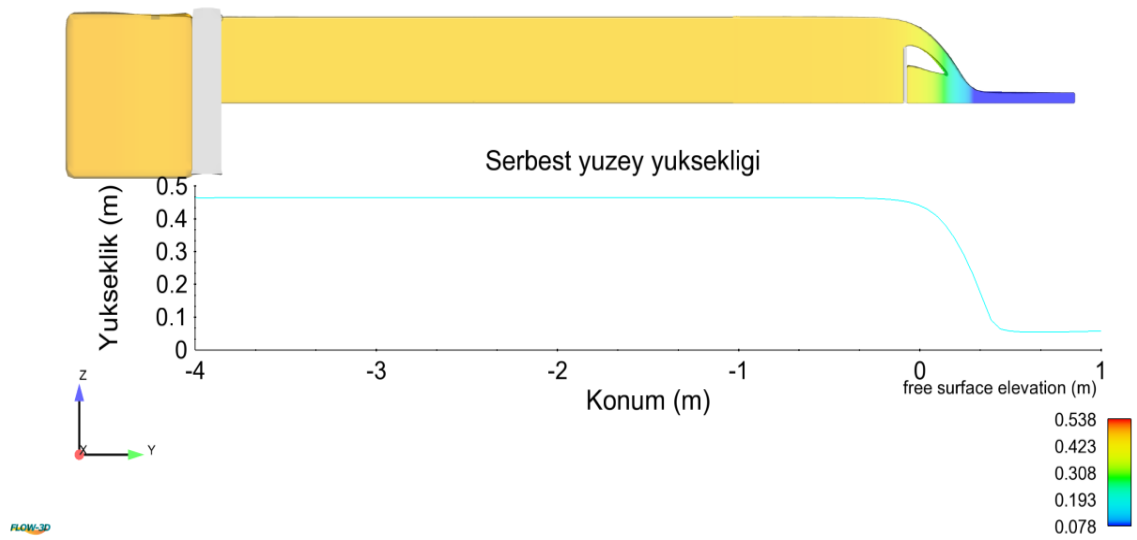
FLOW-3D ile herhangi bir akım şartını çalıştırdıktan sonra, istenilen akım profillerini elde etmek amacı ile her çalışmaya ait akım profilleri alınmıştır. Bu profiller lineer ve labirent dolusavaklara ait akım profilleri sırasıyla Şekil 3.10 ve 3.11' de verilmiştir.

Time = 60.00042

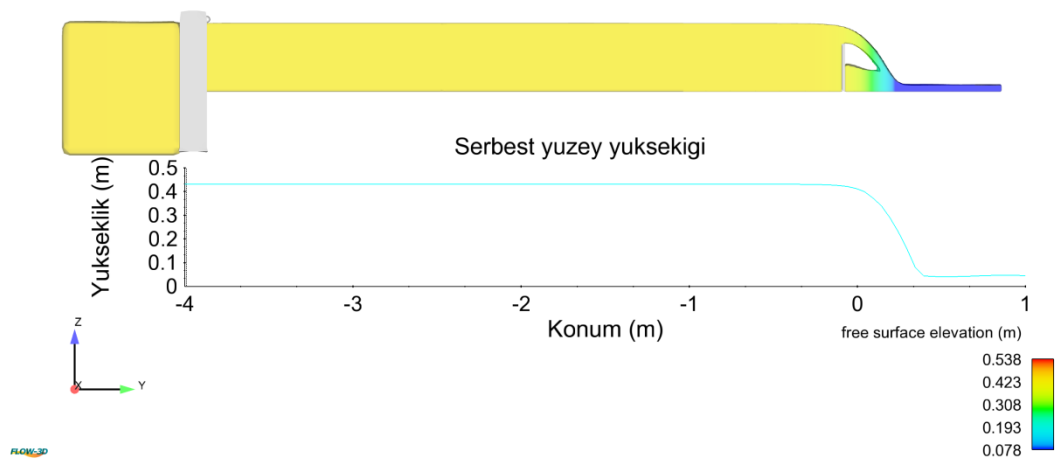


a)Lineer dolusavak, $Q =10$ lt/s

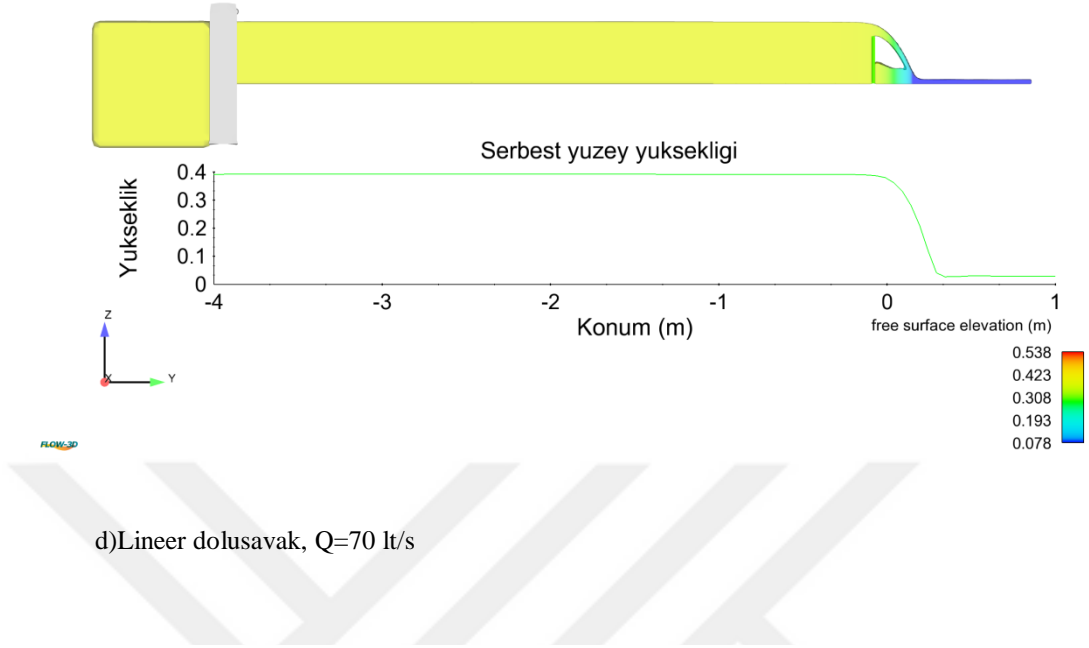
Time = 60.00123

b) Lineer dolusavak, $Q=30$ lt/s

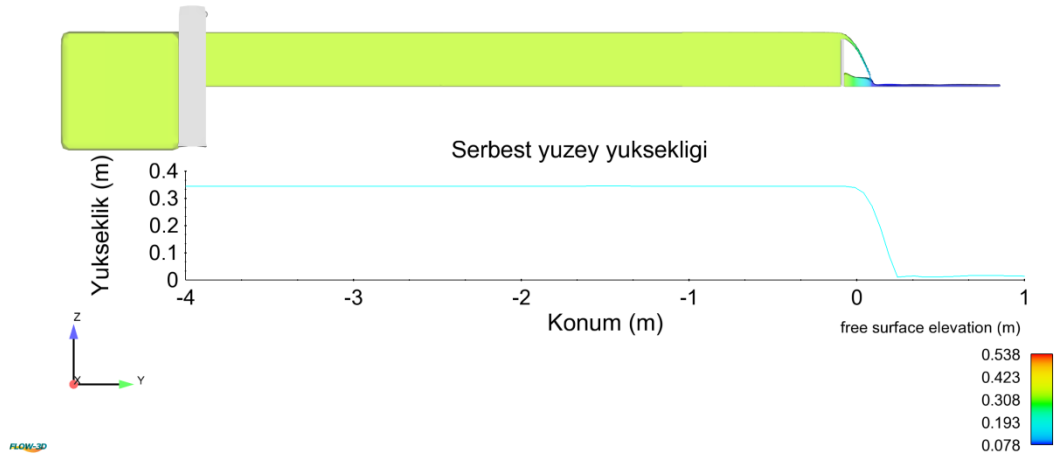
Time = 60.00050

c) Lineer dolusavak, $Q=50$ lt/s

Time = 60.00174

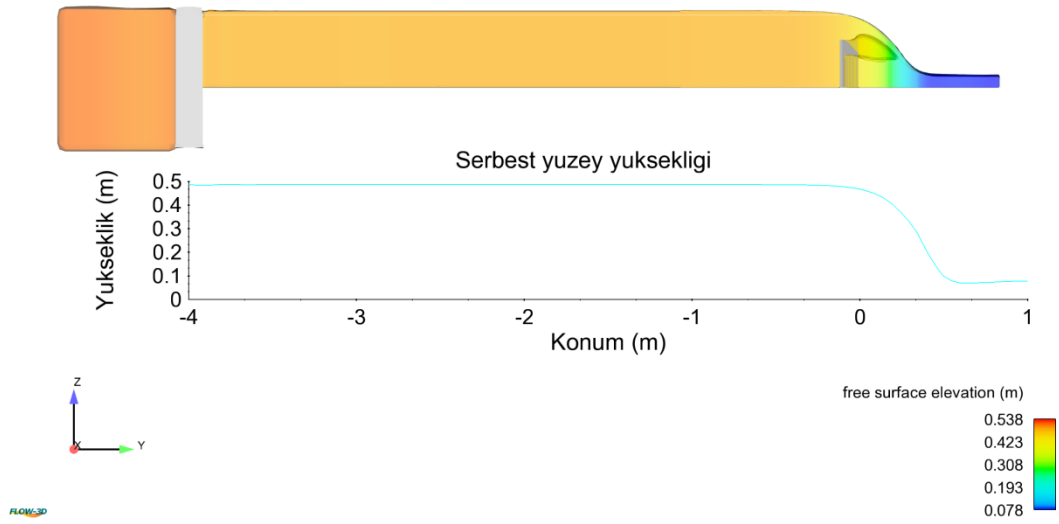


Time = 60.00045

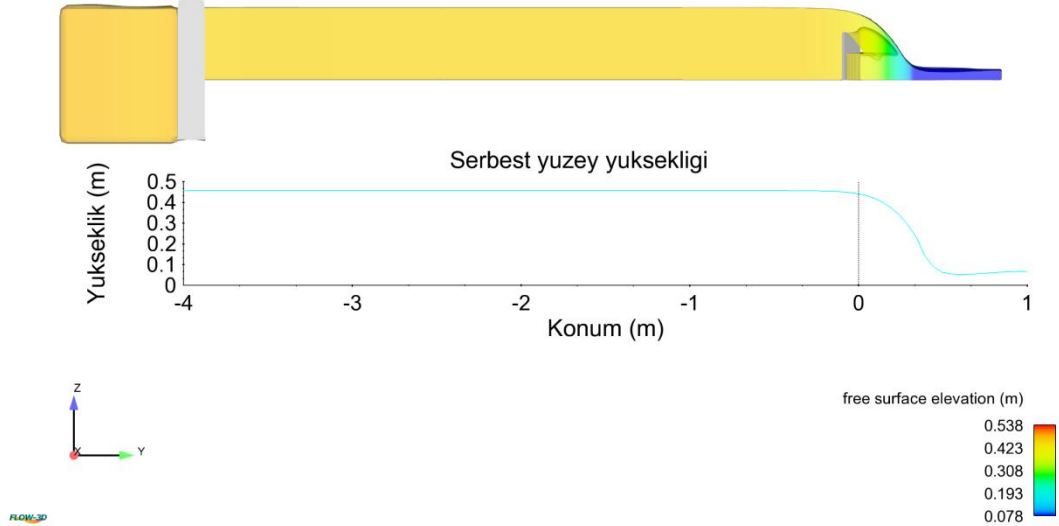


Şekil 3.10. FLOW-3D model çalışmasına ait lineer dolusavak çalışmalarının akım profilleri (a, b, c, d, e)

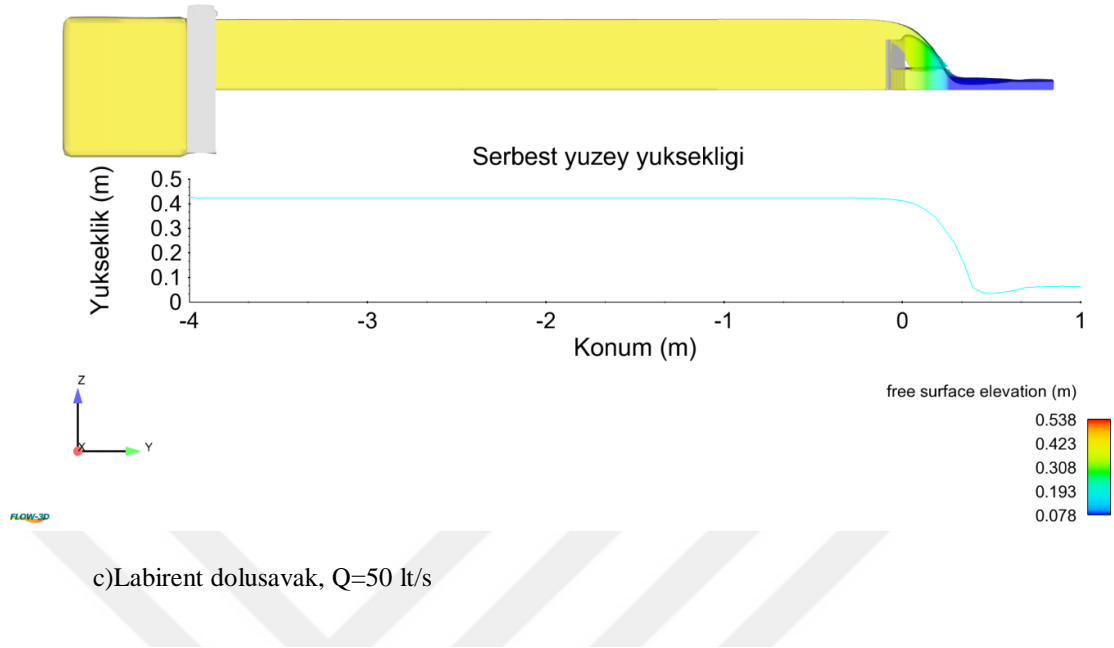
Time = 60.00106

a) Labirent dolusavak, $Q=10$ lt/s

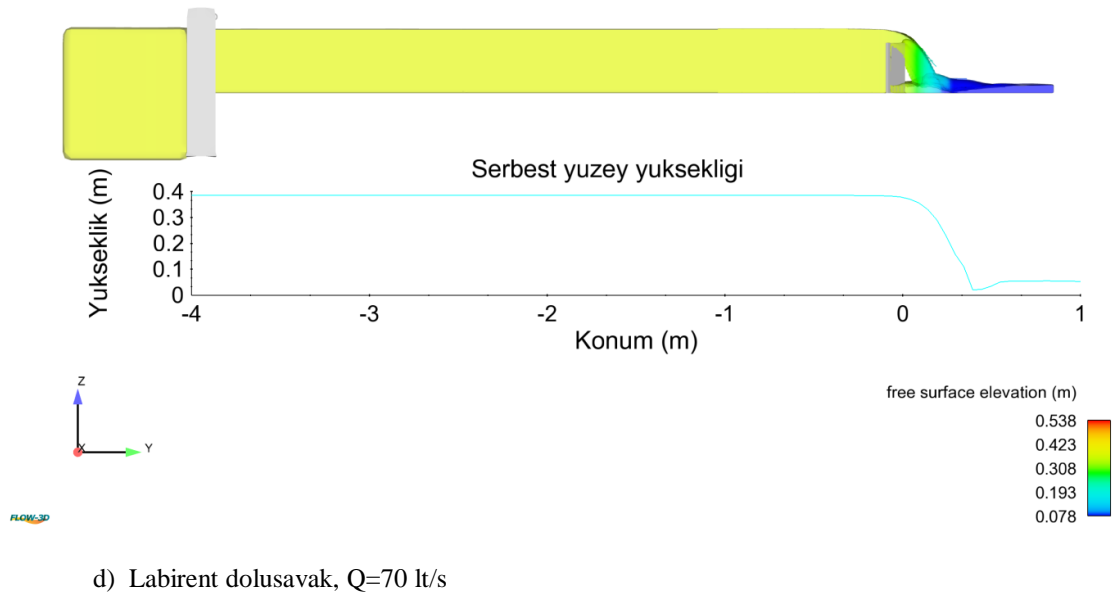
Time = 60.00108

b) Labirent dolusavak, $Q=30$ lt/s

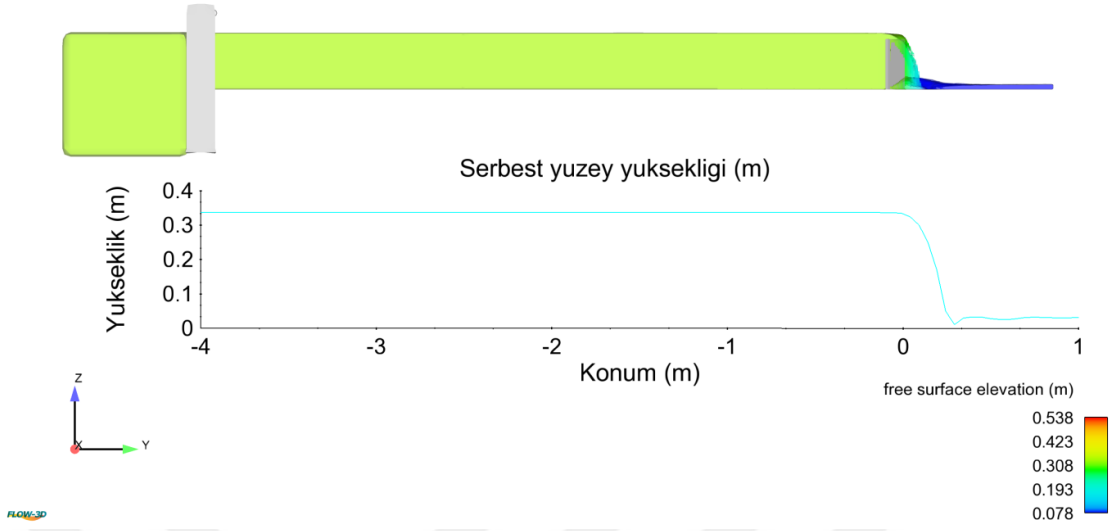
Time = 60.00015



Time = 60.00044



Time = 60.00060

e) Labirent dolusavak, $Q=90$ lt/s

Şekil 3.11. FLOW-3D model çalışmasına ait labirent dolusavak çalışmalarına ait akım profilleri (a, b, c, d, e)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Yapılan deneylerde 15 model şekli için deneyler yapılarak, Q ve bunlara karşılık gelen su yüksekliği h , ölçülmüştür. Her deney için boyutsuz büyüklükler Q/Q_0 , h/P , C_d ve L/L_0 hesaplanmıştır. Bütün deney sonuçları için hesaplanan ve ölçülen büyüklükler EKLER’de verilen Tablo1, 2, 3, 4 ve 5’de listelenmiş ve eklerde verilmiştir.

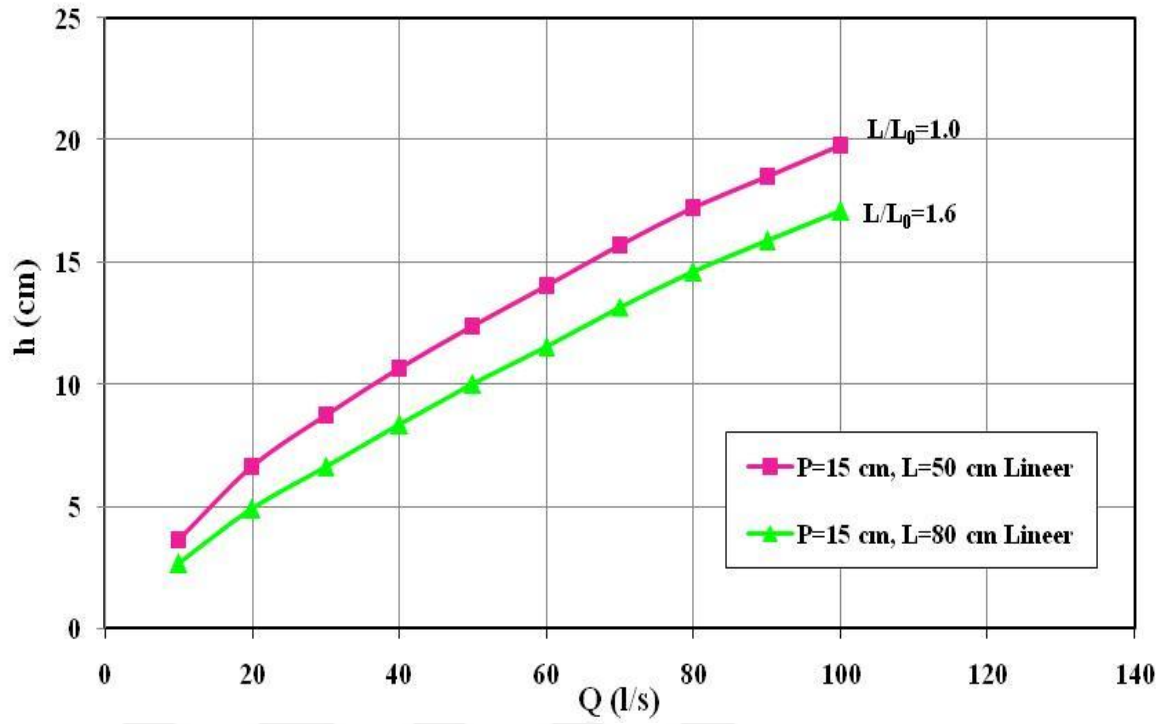
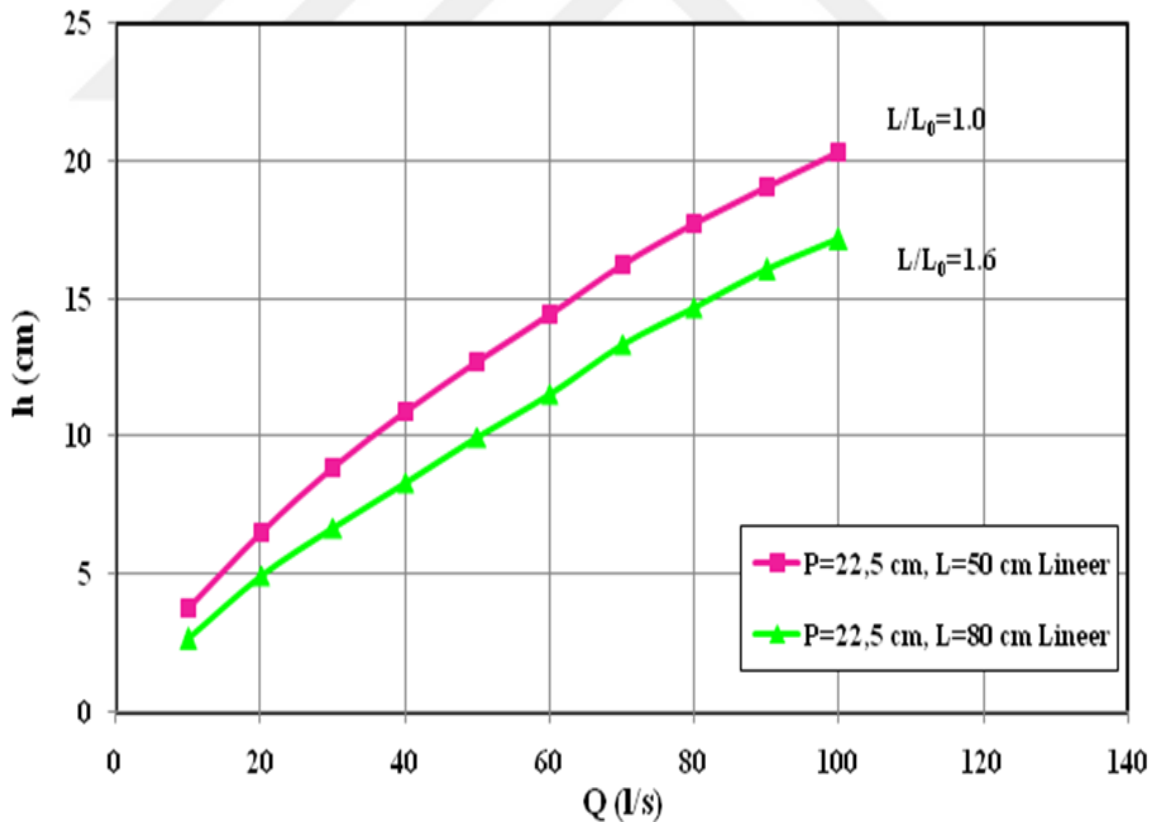
4.2. Lineer ve Labirent Dolusavakların Performanslarını Etkileyen Değişkenler

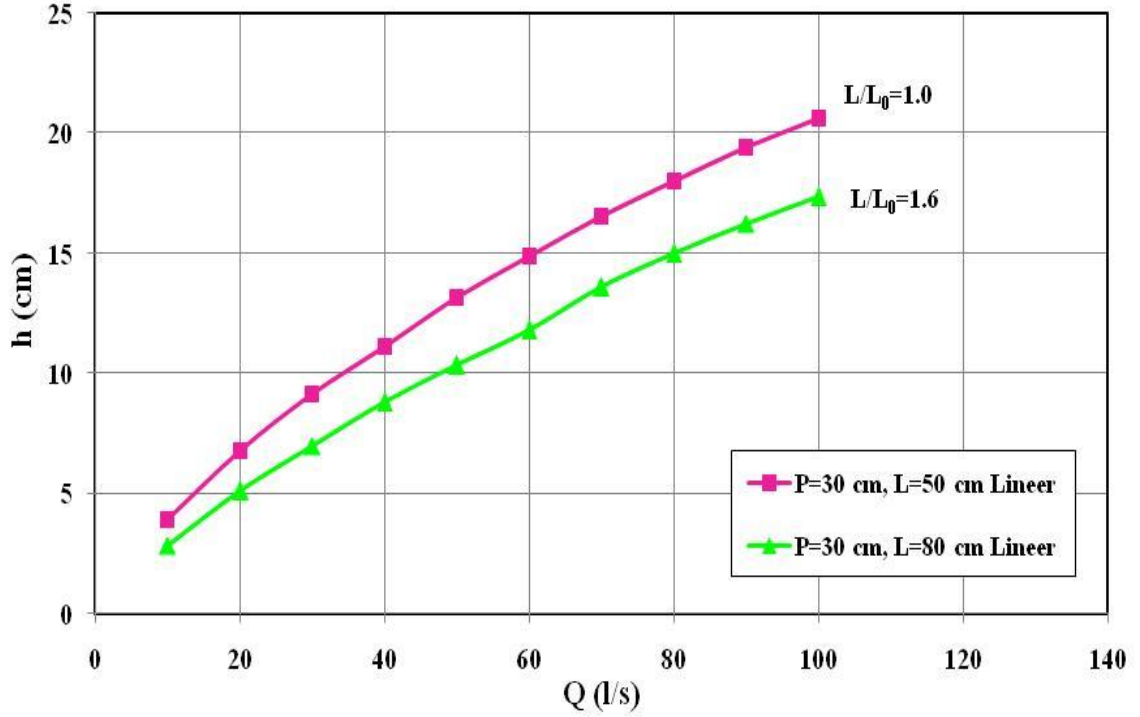
Lineer ve labirent dolusavakların kapasitesini etkileyen değişkenlerin en önemlileri, savak üzerindeki su yüksekliği, etkili kret uzunluğu, savak yüksekliği, ve debi katsayısıdır. Sonraki kısımda savak uzunluğunu etkileyen, h/P oranı ile savak şeklinin, debi kapasitesi ve debi katsayısı üzerindeki etkileri sunulmuştur.

4.2.1. Savak uzunluğu veya savak açısının debi kapasitesi üzerindeki etkisi

4.2.1.1. Lineer savaklar için savak uzunluğu ile debi kapasitesinin değişimi

Belirli bir kanal genişliği için savak kret uzunluğu arttıkça, savak üzerindeki aynı su yükseklikleri için savağın üzerinden geçen debi kapasitesinin de arttığı açıktır (Şekil 4.1). Bu sebeple $P=15$ cm, $P=22,5$ cm ve $P=30$ cm olmak üzere üç farklı savak yüksekliğinde, değişen savak uzunlukları test edilmiştir. Lineer bir savağın debi kapasitesi üzerinde savak uzunluğunun ve savak açısının etkisi L/L_0 için bir parametre olarak Q 'ya karşılık h olarak şekil 4.1., 4.2., ve 4.3. de görülmektedir. Şekillerde $L/L_0 = 1.0$ olan eğri en küçük enine doğrusal savağa karşılık gelir, **model a** olarak tanımlanmış olup; savak uzunluğu kanal genişliğine eşittir. Savak açısı da $\alpha = 90^\circ$ 'dir. $L/L_0 = 1.6$ olan eğri **model b** olup savak uzunluğu $L = 80$ cm ve savak açısı $\alpha = 89,02^\circ$ 'dir. Bu şekiller L/L_0 değeri arttıkça yani uzunluğun orijinal kanal uzunluğu L_0 ' a kıyasla uzatıldığını veya savak açısının azaldığını ortaya koymaktadır. Verilen bir akım yüksekliği h için debi kapasitesi de artmaktadır.

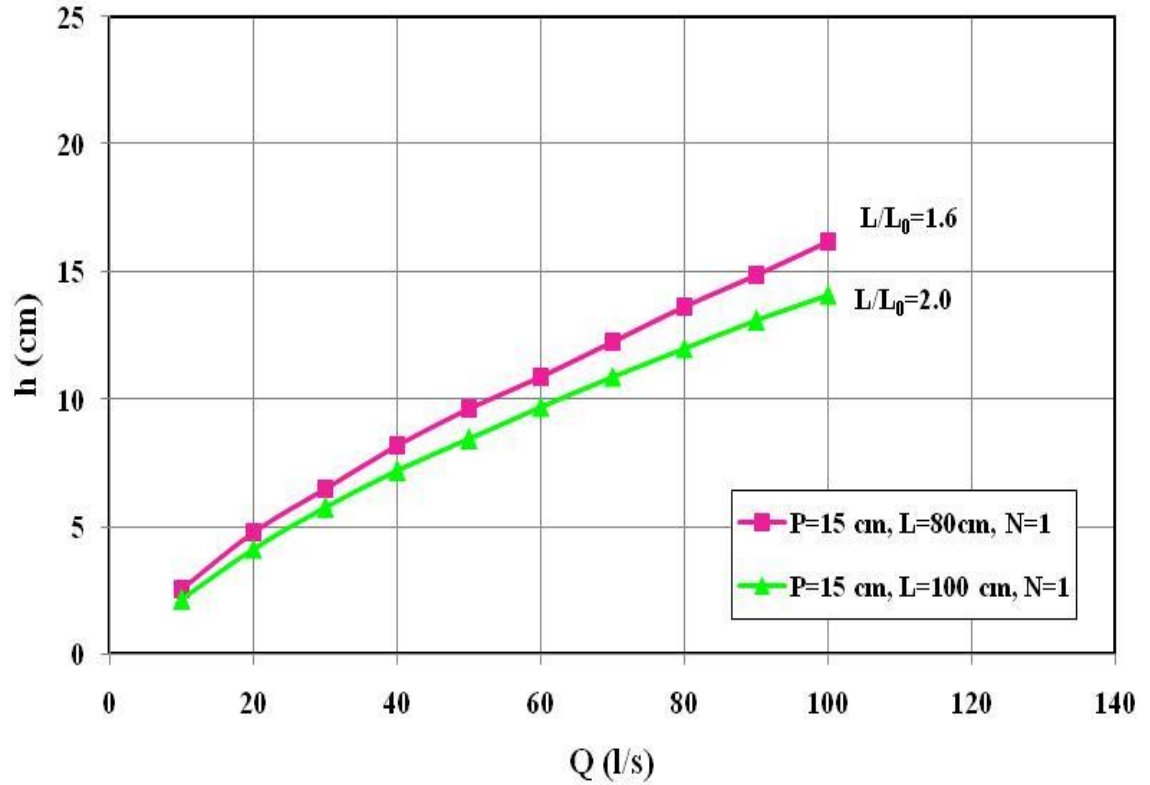
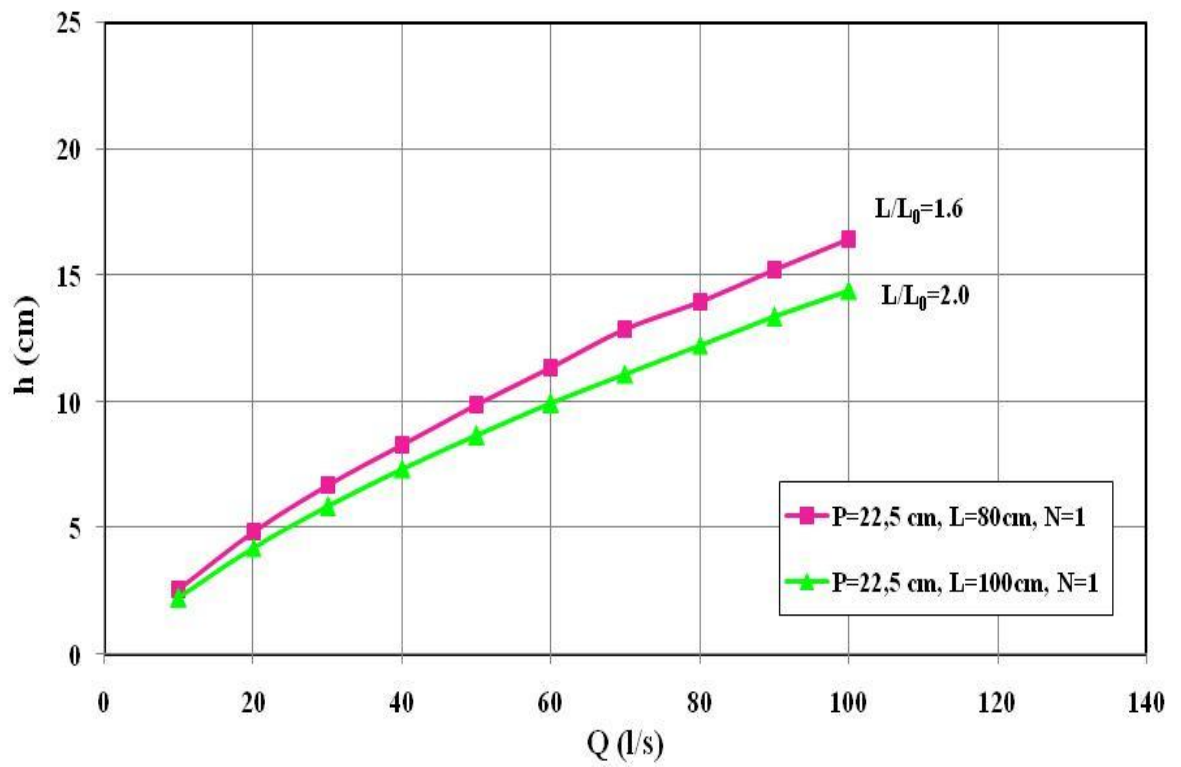
Şekil 4.1. Lineer savaklar için debi eğrileri ($P=15$ cm)Şekil 4.2. Lineer savaklar için debi eğrileri ($P = 22,5$ cm)

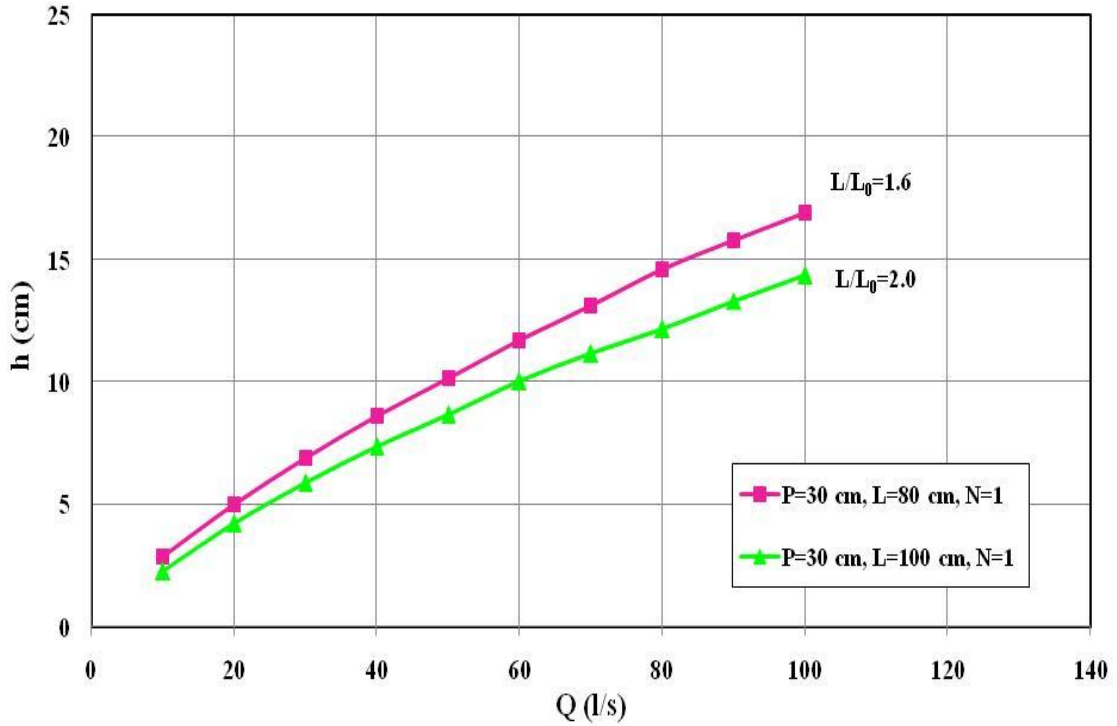


Şekil 4.3. Lineer savaklar için debi eğrileri ($P = 30$ cm)

4.2.1.2. Labirent savaklar için savak uzunluğu ile debi kapasitesinin değişimi

Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3. ' e benzer olarak şekil 4.4., 4.5. ve 4.6. da c ve d serisindeki labirent dolusavaklar için h ile Q ' nun varyasyonunu göstermektedir. Sabit genişlikteki bir kanalda eğer üçgen planda tek gözlü labirent savak da savak uzunluğu artırılırsa, daha uzun savak için daha fazla debi geçişi sağlanmaktadır. Şekil 4.4., 4.5. ve 4.6. da savakların verileri $L/L_0=1.6$ ve $L/L_0=2.0$ labirent savağa karşılık gelir ve burada c ve d serisinin eğrileri açıkça görülmektedir. Küçük h değerleri için savağın veri noktaları birbirine oldukça yakın olsa da, h arttıkça Q değerlerindeki değişim açıkça görülmektedir.

Şekil 4.4. Labirent savaklar için debi eğrileri ($P = 15$ cm)Şekil 4.5. Labirent savaklar için debi eğrileri ($P = 22.5$ cm)



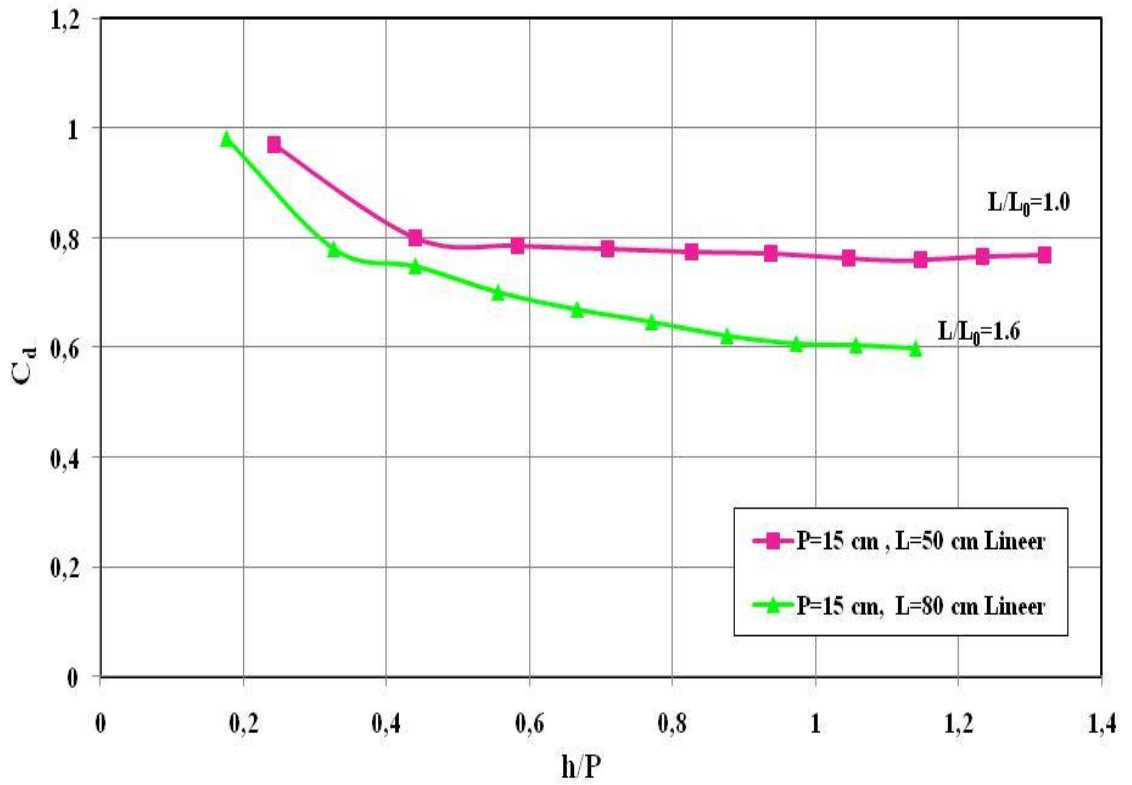
Şekil 4.6. Labirent savaklar için debi eğrileri (P = 30 cm)

4.2.2. Debi katsayısı üzerinde h/P' nin etkisi

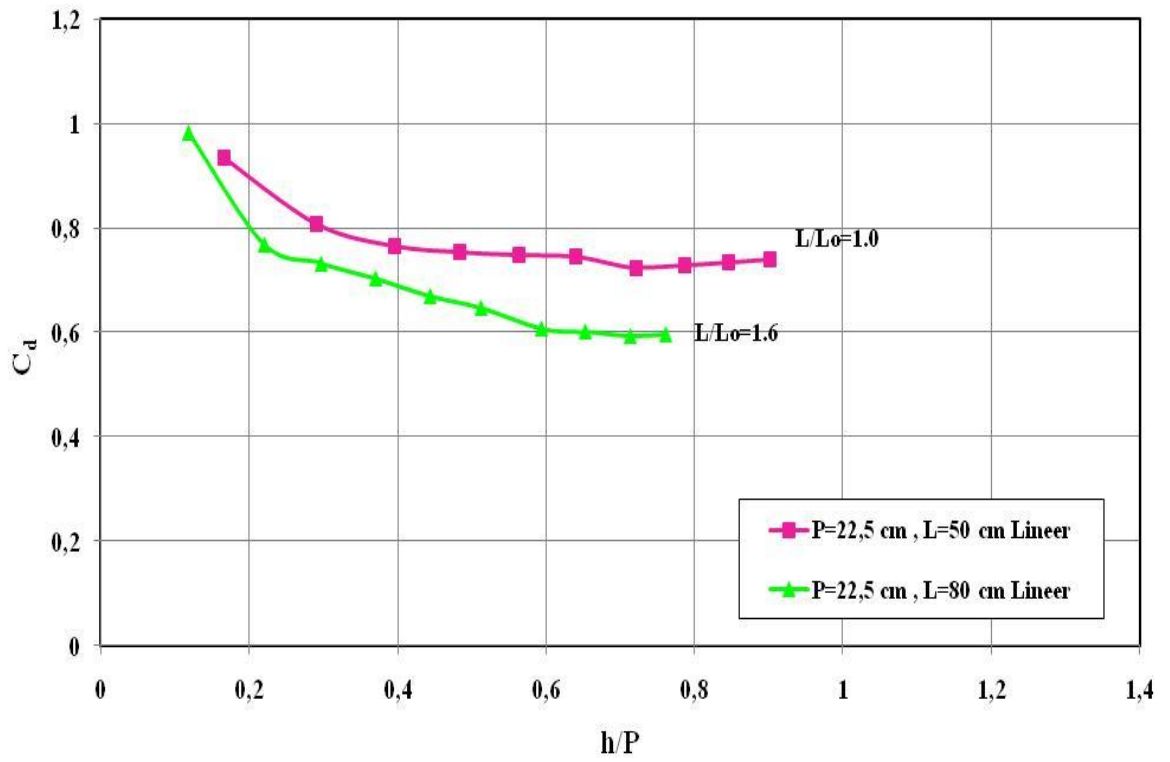
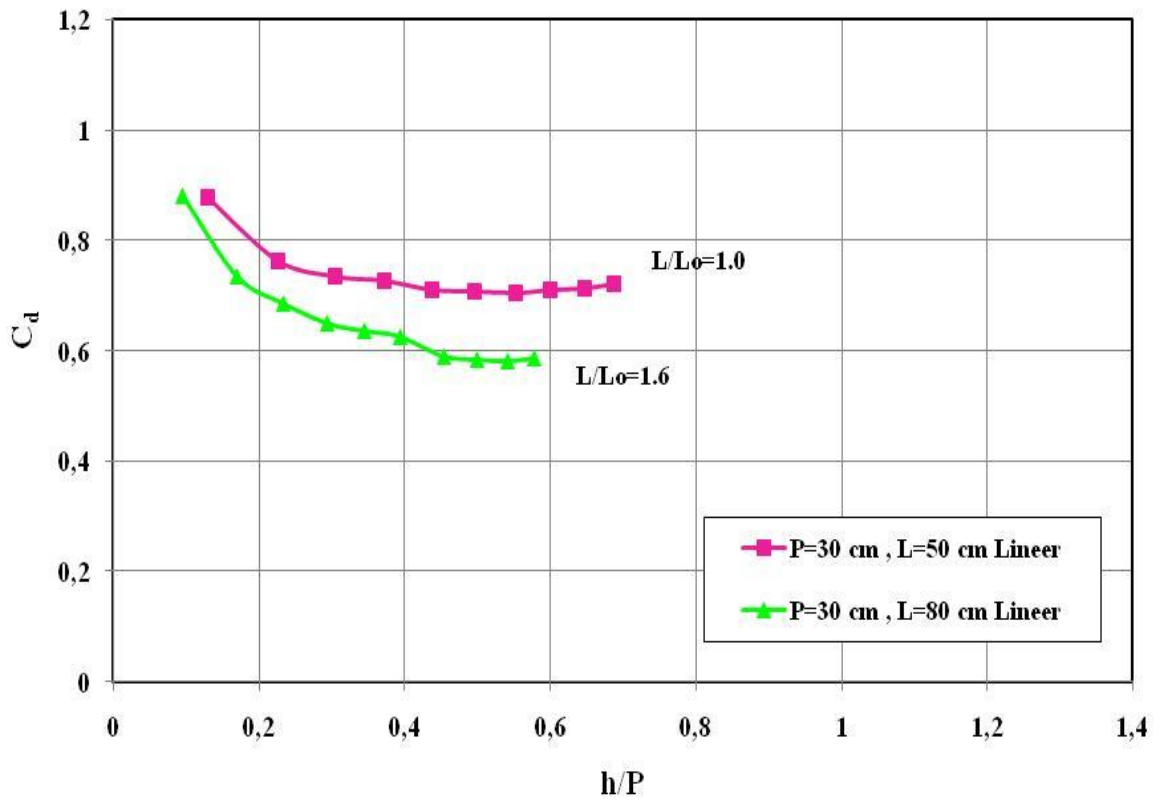
4.2.2.1. Lineer savaklar için h/P ile Cd' nin varyasyonu

Kanal genişliğine yerleştirilen lineer bir savak için yaklaşım açısı $\alpha = 90^\circ$, etkili savak uzunluğu L 'dir. Savak katsayısı, C_d ; h/P 'ye duvar kalınlığı t 'ye, planda savak şekline ve napın havalandırmasına bağlıdır. Şekil 4.7., 4.8., ve 4.9. da kret katsayısı C_d 'nin $P = 15$ cm, $P = 22,5$ cm ve $P = 30$ cm için h/P 'ye bağlı olarak değişimi, $L=50$ cm ve 80 cm lineer savaklar için verilmiştir. $L=50$ cm için C_d değeri $0,4$ 'ten büyük h/P değerleri için yaklaşık $0,75$ 'lik bir değerde neredeyse sabit hale gelmektedir. Bu çalışmada da, C_d değerleri ile h/P 'nin değişimi benzer bir değişim göstermektedir. Napın havalandırması kret katsayısını etkiler ve bu yüzden savak kapasitesini de etkiler. Lineer bir savak için havalanma kolaydır ve h/P yaklaşık $0,70$ ' dir. Lineer savakların havalanması için birincil amaç, napın altındaki basınç değişimlerinin neden olduğu titreşimleri azaltmak içindir. Nap havalanmadığında savak tahmin edilen C_d değerlerinden daha fazla geçiş sağlar (Tullis ve diğerleri., 1995). Havalanmamış akışlar için kret katsayısı değerleri küçük h/P değerlerine karşılık $C_d = 0.75$ ' ten biraz daha yüksek olabilir.

Şekil 4.7., 4.8. ve 4.9. mevcut C_d ile h/P arasındaki varyasyonu lineer savaklar için a ve b serisindeki üç farklı savak yüksekliğinde $P=15$ cm, $P=22,5$ cm ve $P=30$ cm için sırasıyla göstermektedir. Test edilen modeller kıyaslandığında h/P değeri arttıkça C_d değeri azalmaktadır. Akım yönüne dik $\alpha=90^\circ$, $L/L_0=1.0$ olan model a serisi için h/P değeri yükseldikçe C_d değeri yaklaşık 0,75 'e yaklaşmaktadır. Lineer savak uzunluğu daha da uzadıkça verilen h/P değerine karşılık gelen C_d azalmaktadır. Sonuç olarak savak uzunluğundaki %60 artış test edilen h/P aralığı içerisinde C_d değerinin yaklaşık %8-14 arasında düşüşü ile sonuçlanmaktadır.

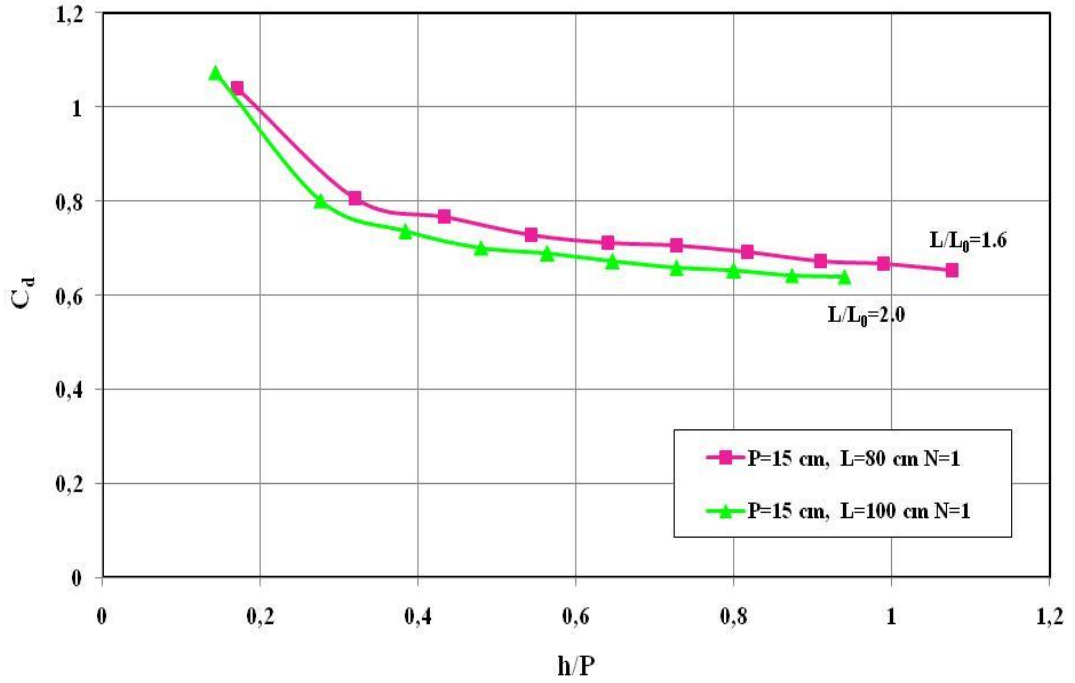


Şekil 4.7. Lineer savaklar için debi eğrileri ($P = 15$ cm)

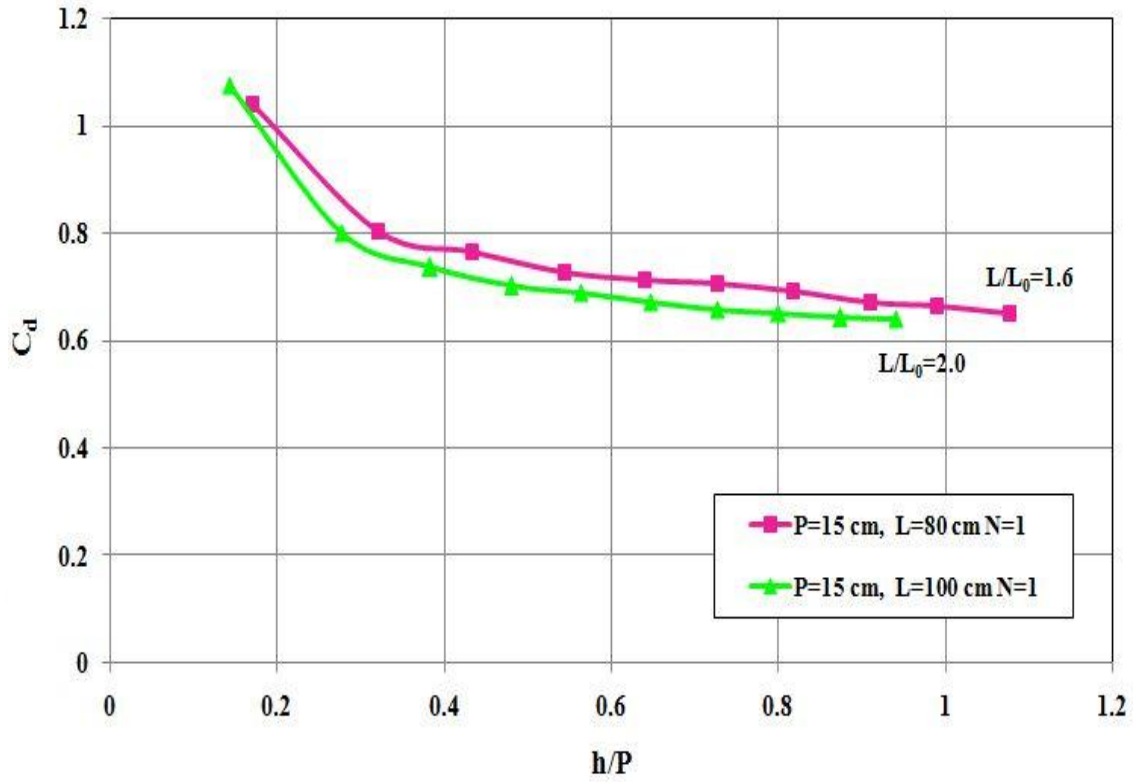
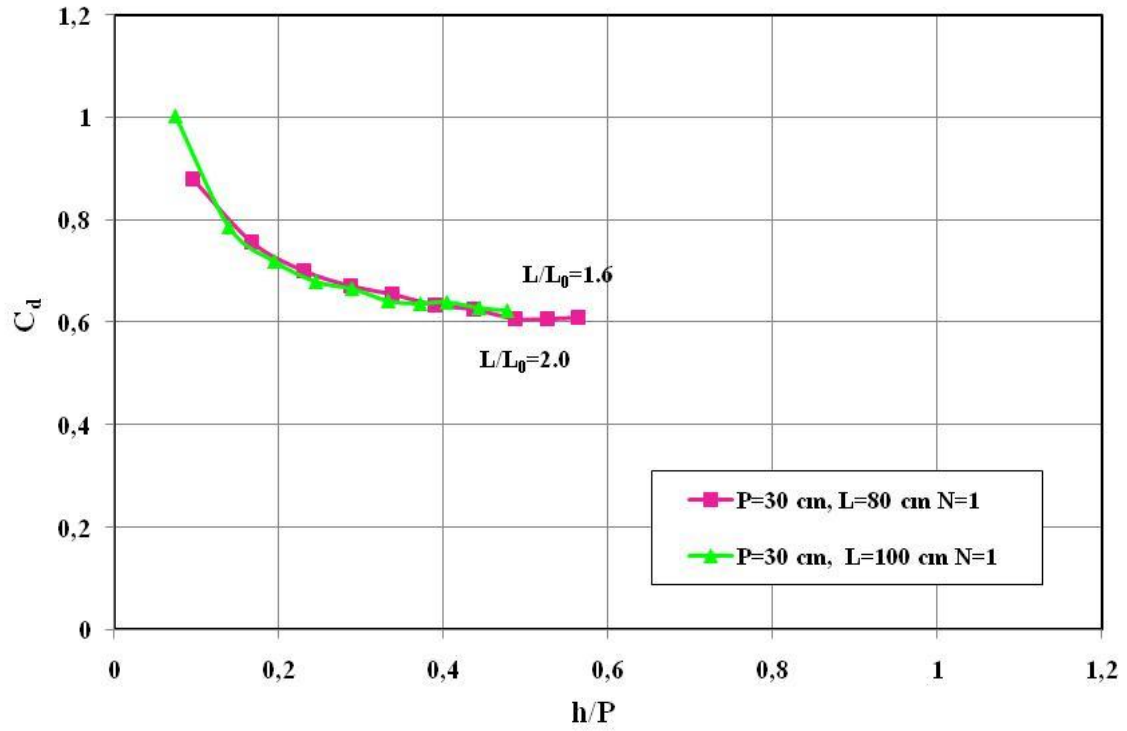
Şekil 4.8. Lineer savaklar için debi eğrileri ($P = 22,5$ cm)Şekil 4.9. Lineer savaklar için debi eğrileri ($P = 30$ cm)

4.2.2.2. Labirent savaklar için h/P ile C_d ' nin değişimi

Şekil 4.10., 4.11. ve 4.12., debi katsayısı C_d , ile h/P 'nin değişimini L/L_0 'ın fonksiyonu olarak **c ve d serilerine** ait farklı savak yüksekliklerinde, $P=15$ cm, $P= 22,5$ cm ve $P= 30$ cm için, sırasıyla göstermektedir. Verilen bir h/P değeri için L/L_0 oranı arttıkça C_d değeri azalmaktadır. Yani savak uzunluğundaki artış C_d değerindeki azalma şeklinde görülmektedir.

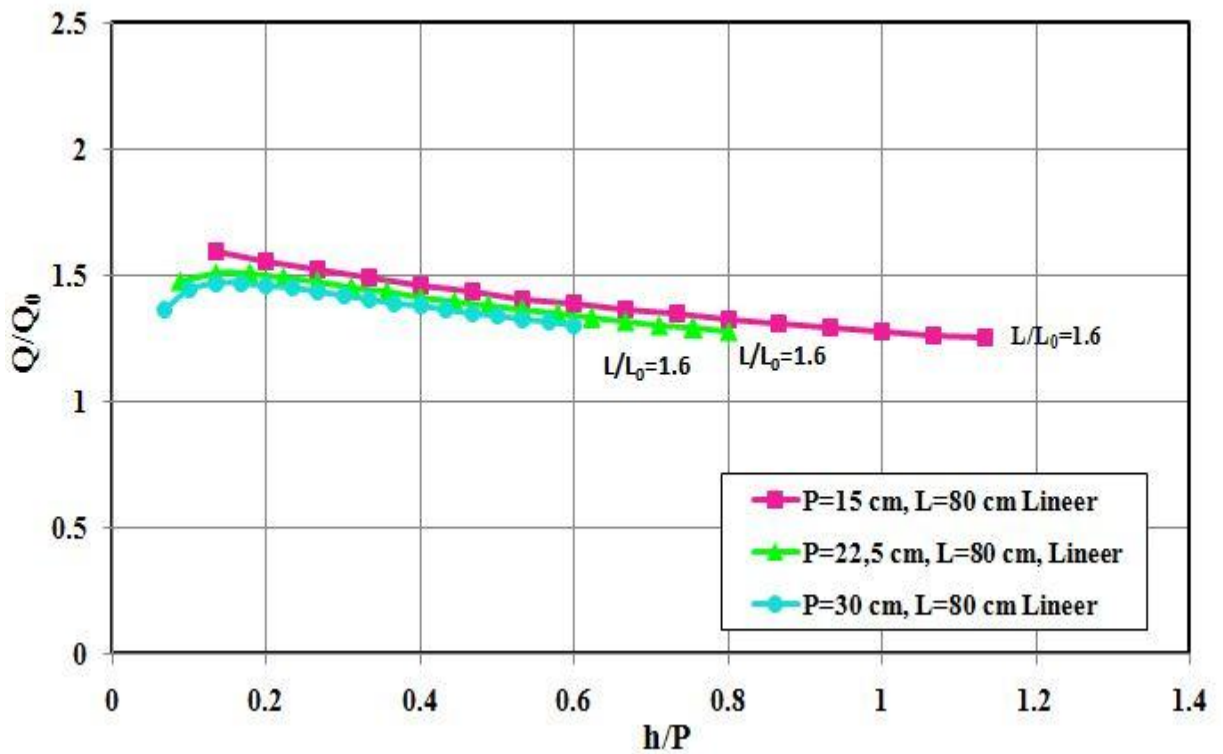


Şekil 4.10. Labirent savaklar için debi eğrileri ($P = 15$ cm)

Şekil 4.11. Labirent savaklar için debi eğrileri ($P = 22,5$ cm)Şekil 4.12. Labirent savaklar için debi eğrileri ($P = 30$ cm)

4.2.2.3. Lineer savaklar için h/P ile Q/Q_0 ' nin değişimi

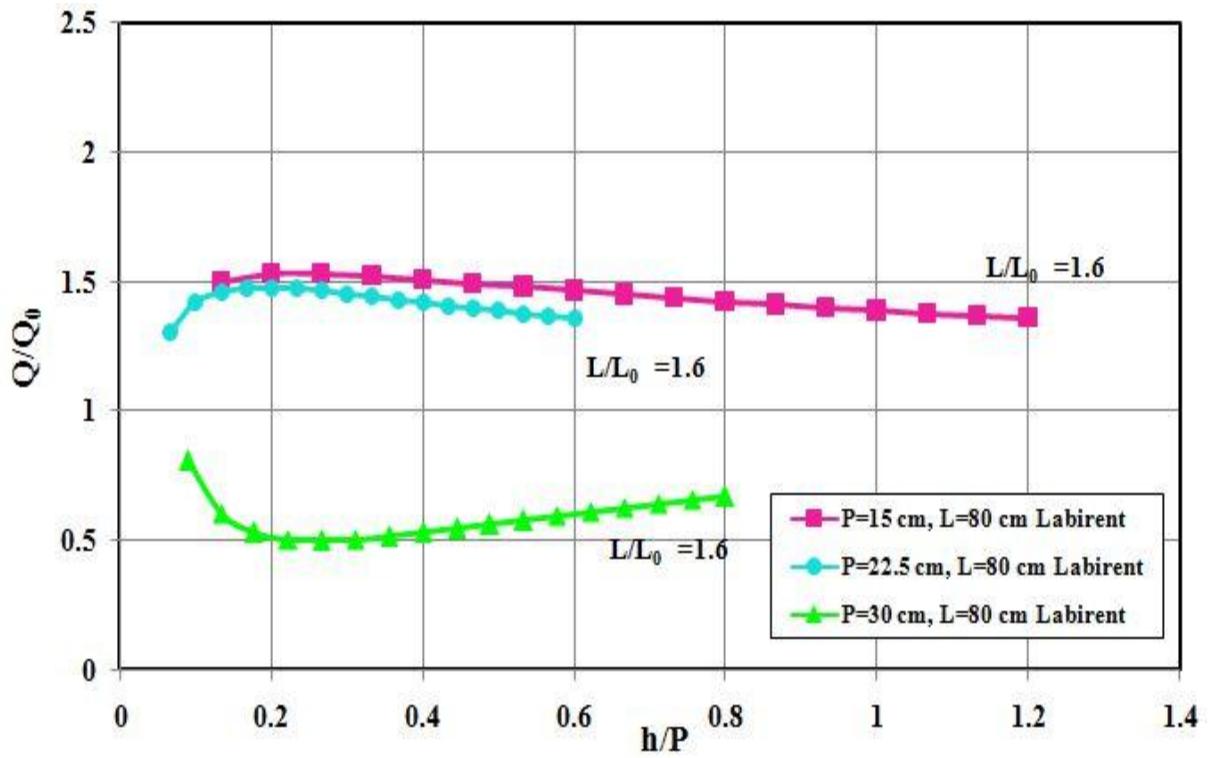
Çalışmanın bu bölümünde savak yüksekliğinin debi üzerindeki etkisini incelemek amacı ile sabit dolusavak uzunluğunda farklı savak yüksekliklerinde debinin değişimine bakılmıştır. Bu amaçla **b serisine** ait ölçümler incelenmiştir. Şekil 4.13 incelenirse, farklı dolusavak yüksekliklerindeki $L/L_0=1.6$ $L=80$ cm uzunluğuna ait dolusavak için, h/P arttıkça Q/Q_0 boyutsuz parametresinin azaldığı, dolusavak yüksekliğinin çok etkili bir değişime sebep olmadığı görülmüştür.



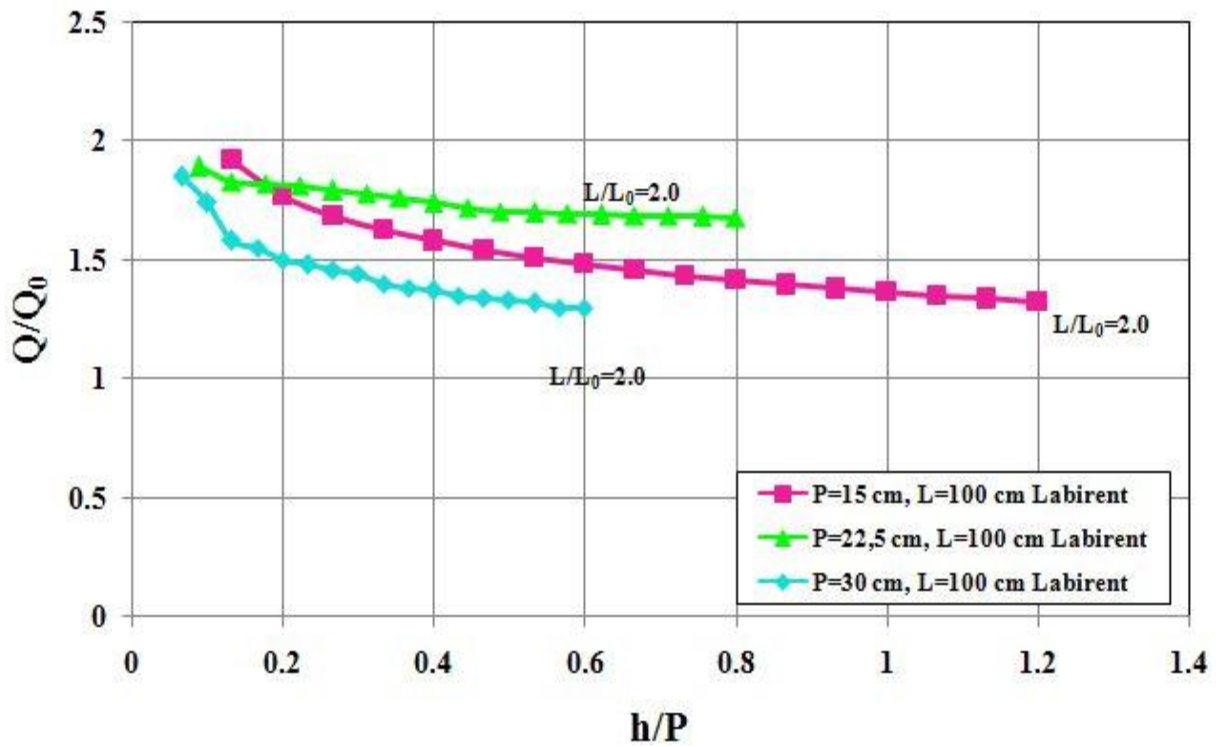
Şekil 4.13. Lineer **b serisi** için debi eğrileri ($P=15$ cm, $P=22,5$ cm, $P=30$ cm)

4.2.2.4. Labirent savaklar için h/P ile Q/Q_0 ' nin değişimi

Bu bölümde **c serisi** yani $N=1$ gözlü üçgen bir savakta savak yüksekliğindeki değişimin debi katsayısı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu nedenle, $P=15$ cm, $P=22,5$ cm ve $P=30$ cm yüksekliğindeki tek gözlü üçgen dolusavaklar için $L=80$ cm ve 100 cm test edilmiştir. Şekil 4.14 ve 4.15 incelendiğinde, lineer dolusavağa benzer şekilde labirent dolusavak şeklinde de, $P=15$ cm ve $P=30$ cm'e karşılık gelen h/P değeri arttıkça, Q/Q_0 değeri azalmaktadır.



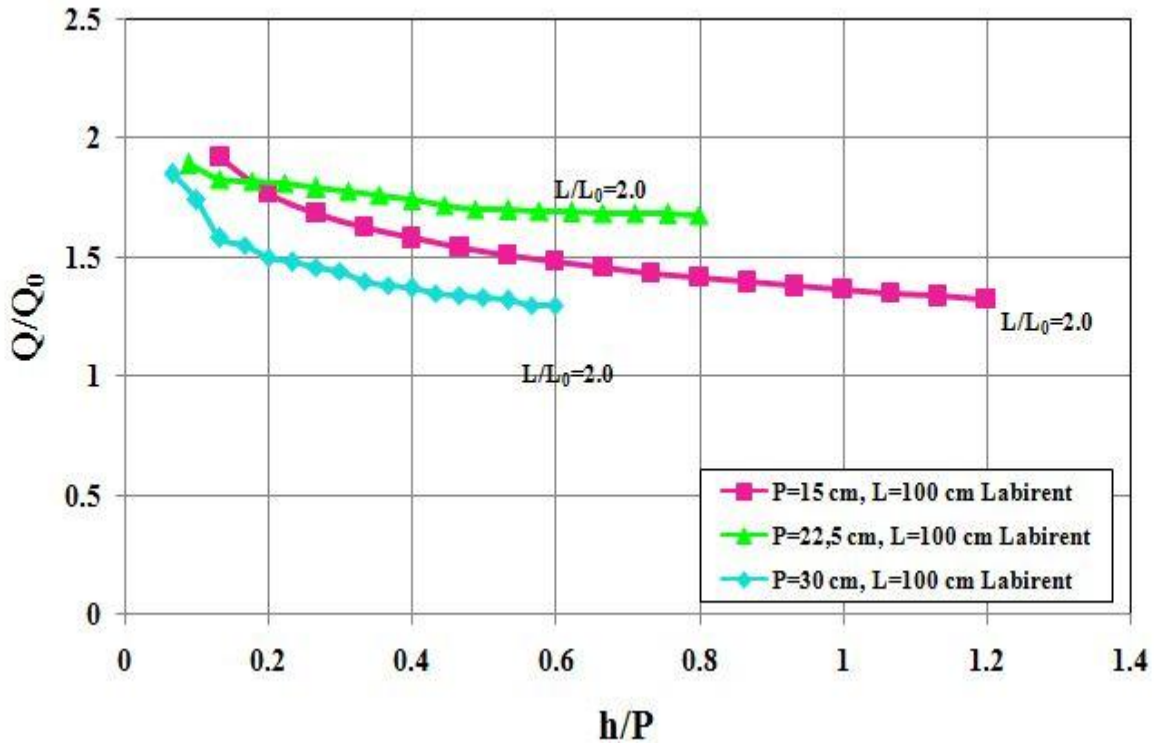
Şekil 4.14. Labirent c serisi için debi eğrileri $L=80$ cm ($P=15$ cm, $P=22,5$ cm, $P=30$ cm)



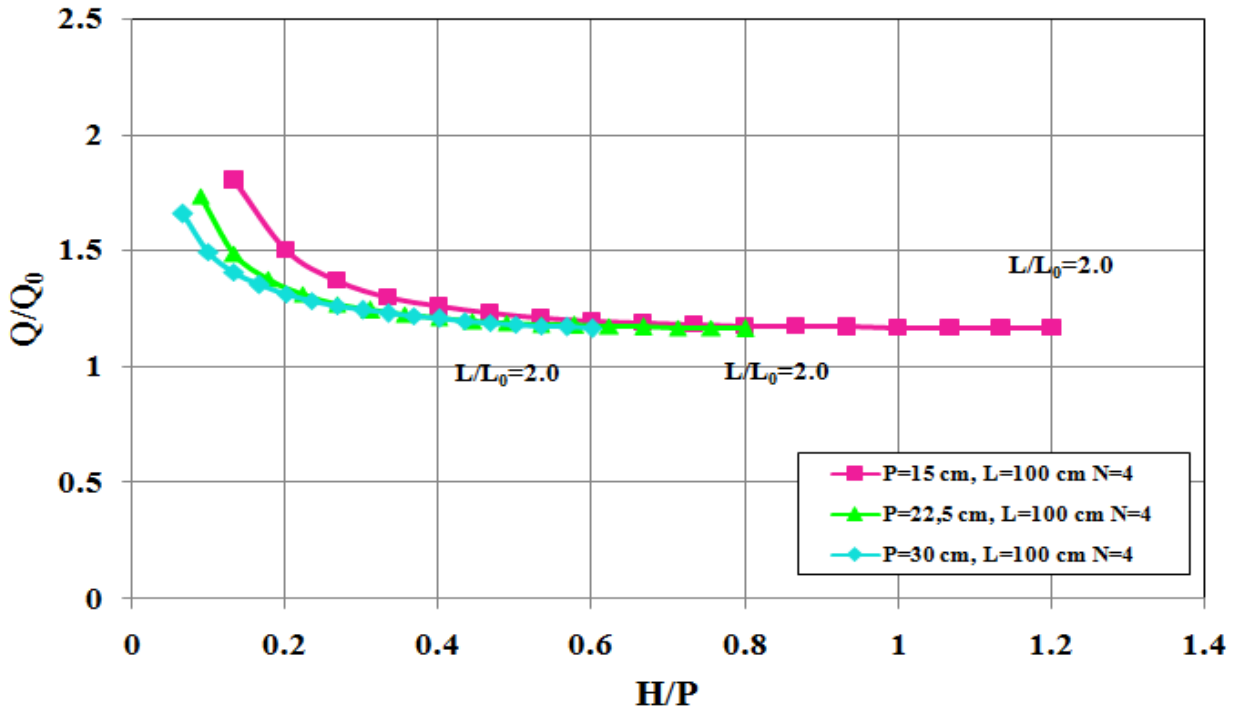
Şekil 4.15. Labirent d serisi için debi eğrileri $L=100$ cm ($P=15$ cm, $P=22,5$ cm, $P=30$ cm)

4.2.2.5. Labirent savaklar için h/P ile Q/Q_0 ' nin değişimi üzerinde göz sayısının etkisi

Bu bölümde labirent savaklarda savak boyu aynı olup göz sayısı farklı olan iki ayrı üçgen dolusavak modeli olan **d ve e serisinde** göz sayısının ve savak yüksekliğinin h/P ve Q/Q_0 üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 4.16 ve 4.17'den de görüldüğü gibi, Q/Q_0 değeri 1.75'den başlayarak h/P değeri arttıkça 1.25 değerlerine kadar düşmektedir.



Şekil 4.16. Labirent **d serisi** için debi eğrileri $L=100$ cm, $N=1$ ($P=15$ cm, $P=22,5$ cm, $P=30$ cm)

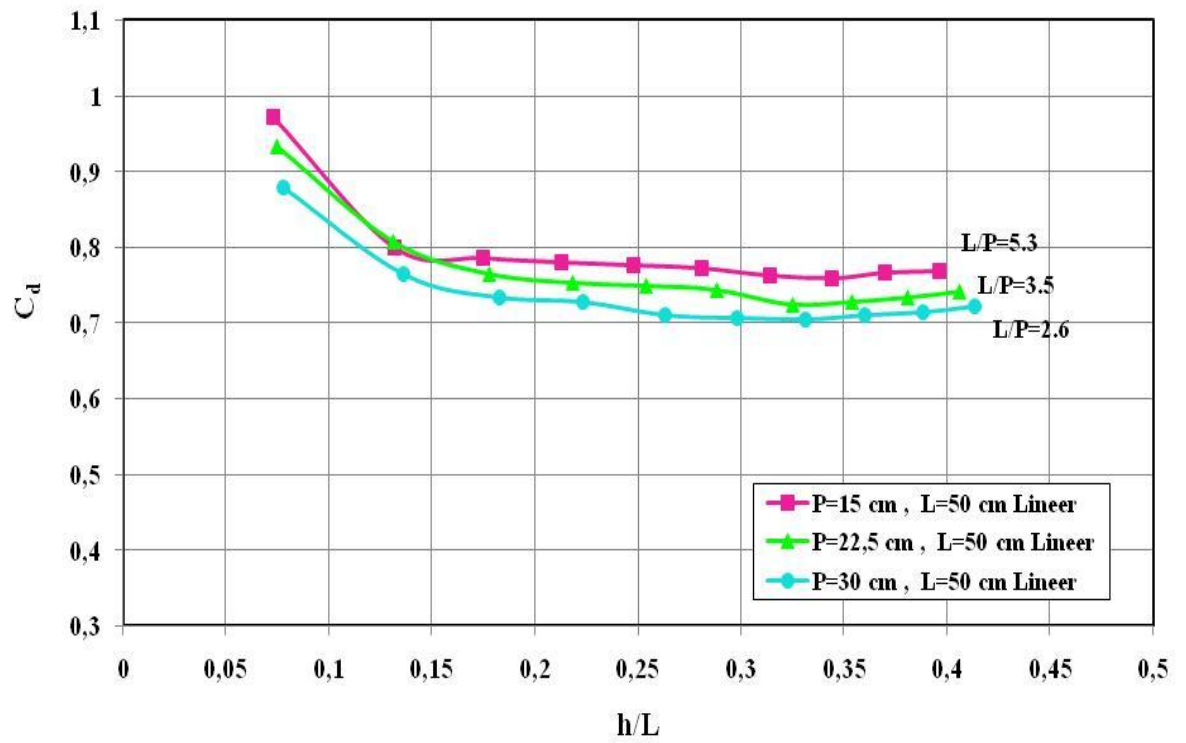


Şekil 4.17. Labirent e serisi için debi eğrileri $L=100$ cm, $N=4$ ($P=15$ cm, $P=22,5$ cm, $P=30$ cm)

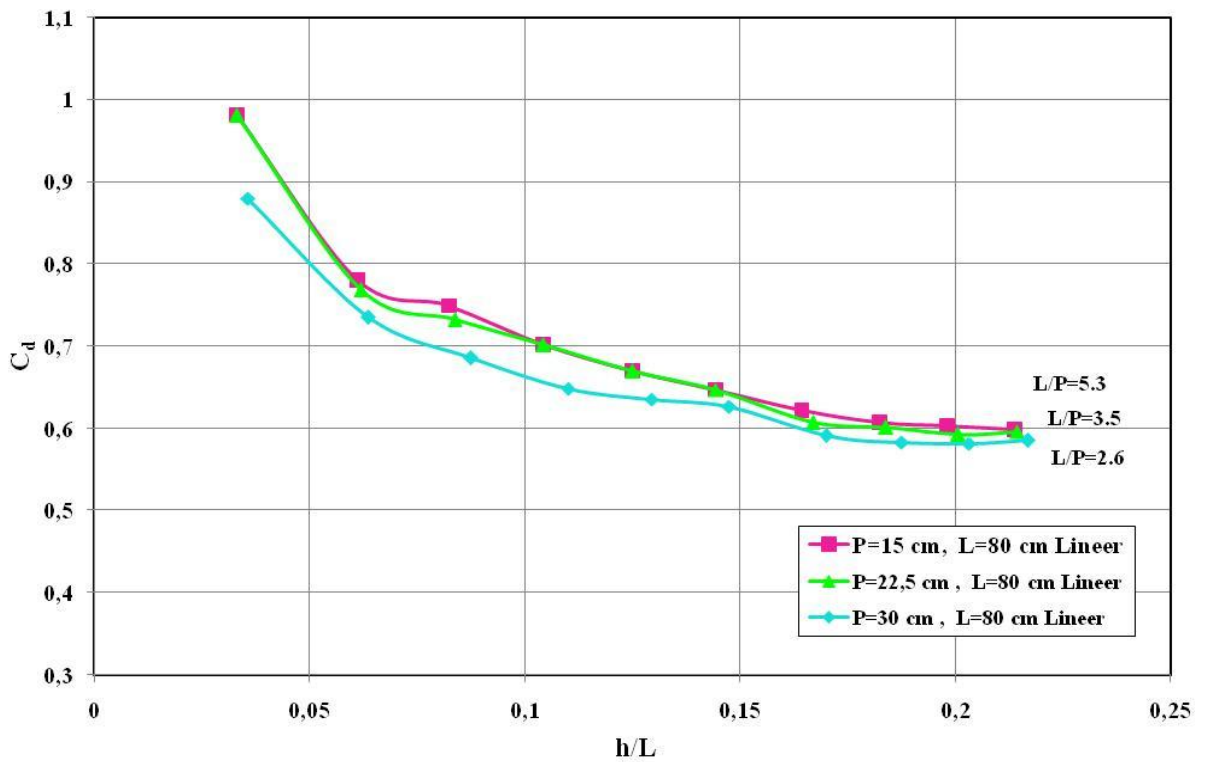
4.2.3. Savak yüksekliğinin debi üzerindeki etkisi

Savak yüksekliğinin debi üzerindeki etkisi ya C_d 'ye karşı h/L veya Q/Q_0 'a karşı h/L ilişkileri lineer ve labirent savaklar için aynı uzunlukta fakat farklı savak yüksekliklerinde karşılaştırılarak analiz edilebilir. Bu bölümde savakların C_d 'ye karşılık h/L ilişkisi tartışılmıştır. Savak katsayısı C_d , ve debi arasında doğrusal bir ilişki olduğundan aynı uzunlukta fakat farklı savak yüksekliğine sahip savakların C_d değerlerinin karşılaştırılmasının sonuçları, savakların debi değerlerinin doğrudan karşılaştırılması için kullanılabilir.

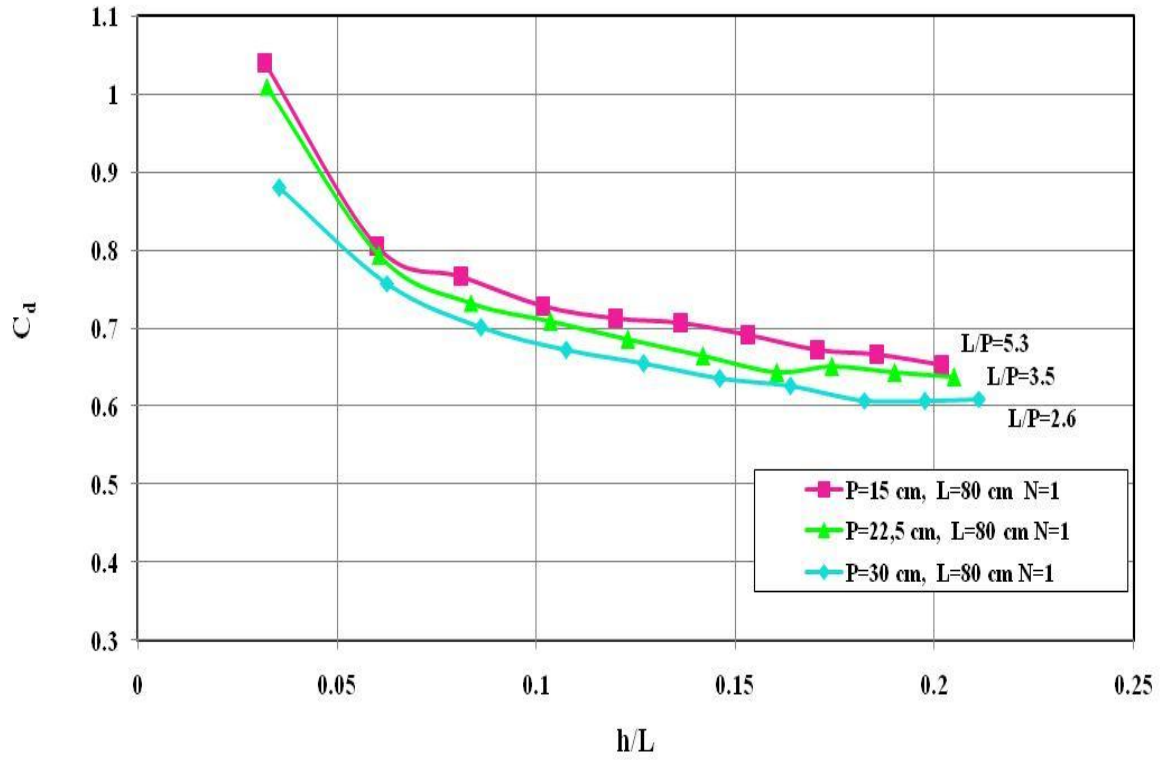
C_d değerine karşılık h/L 'nin değişimi aynı uzunluk fakat farklı savak yükseklikleri $P=15$ cm, $P=22,5$ cm ve $P=30$ cm için ayrı ayrı Şekil 4.18., 4.19. ve 4.20. 'de gösterilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, L/P değeri azaldıkça, verilen bir h/L değeri için C_d katsayısı da azalmaktadır. Yine h/L değerinin artması ile C_d katsayısı 0.7 ile 0.78 arasında sabitlenmektedir. $L=80$ cm ise L/P değerinin farkı çok görülmemekte olup, h/L arttıkça C_d değeri azalmakta ve $h/L=0.2$ civarında 0.6 sabit değerine ulaşmıştır. Şekil 4.20 ve 4.21 incelendiğinde, $L=80$ cm uzunluğundaki labirent dolusavak kullanıldığında $h/L=0.2$ değeri için C_d 0.6-0.65 arasında değişirken, $L=100$ cm uzunluğundaki labirent dolusavakda $h/L=0.15$ değeri için $C_d=0.6$ sabit değerine ulaşmaktadır.



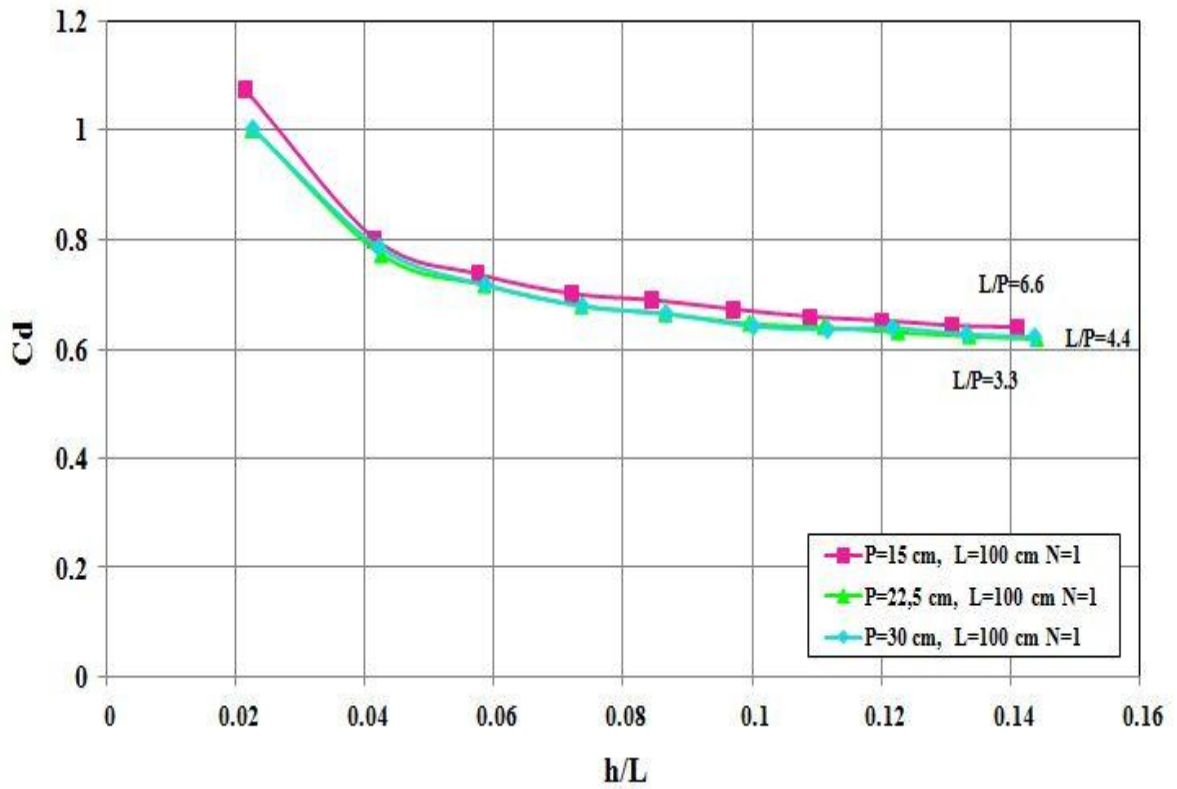
Şekil 4.18. Lineer savakların debi katsayısı C_d üzerinde savak yüksekliğinin etkisi (a serisi)



4.19. Lineer savakların debi katsayısı C_d üzerinde savak yüksekliğinin etkisi (b serisi)

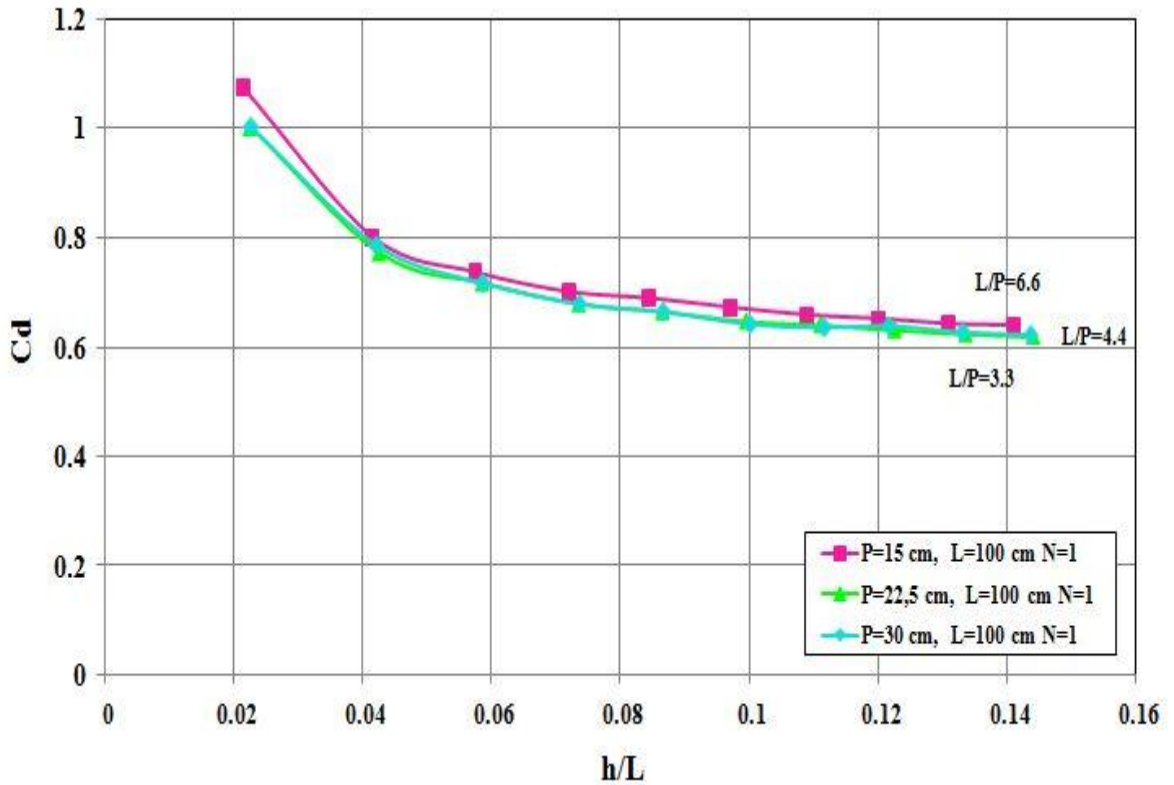


Şekil 4.20. Labirent savakların debi katsayısı C_d üzerinde savak yüksekliğinin etkisi (c serisi)



Şekil 4.21. Labirent savakların debi katsayısı C_d üzerinde savak yüksekliğinin etkisi (d serisi)

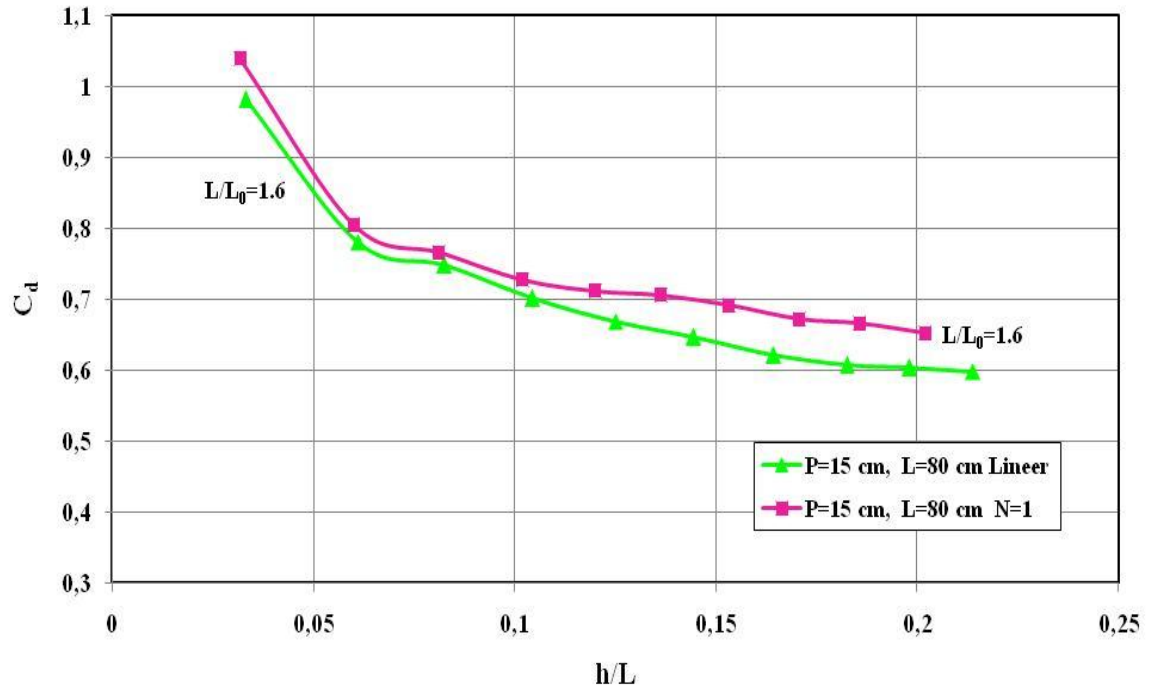
Şekil 4.22 $L=100$ cm, $N=4$ olan labirent dolusavağa aittir. Bu grafikten de görülebileceği gibi, h/L değeri arttıkça C_d değeri azalmaktadır. L/P değerleri arasında çok büyük bir fark görülmemekle beraber düşük savak yüksekliklerinde az da olsa daha yüksek C_d değerleri elde edilmiş olup h/L değeri 0.25'e yaklaştıkça, C_d değeri ise 0.42-0.46 aralığında değişmektedir.



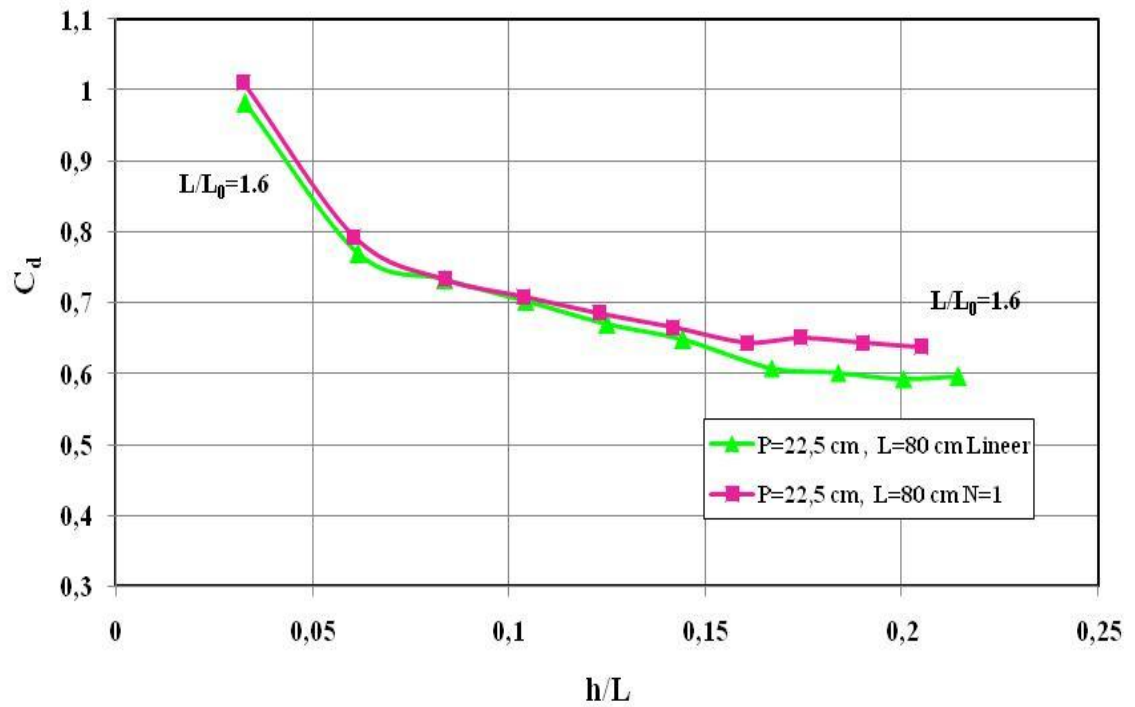
Şekil 4.22. Labirent savakların debi katsayısı C_d üzerinde savak yüksekliğinin etkisi (e serisi)

4.2.4. Savak şeklinin debi katsayısı üzerindeki etkisi

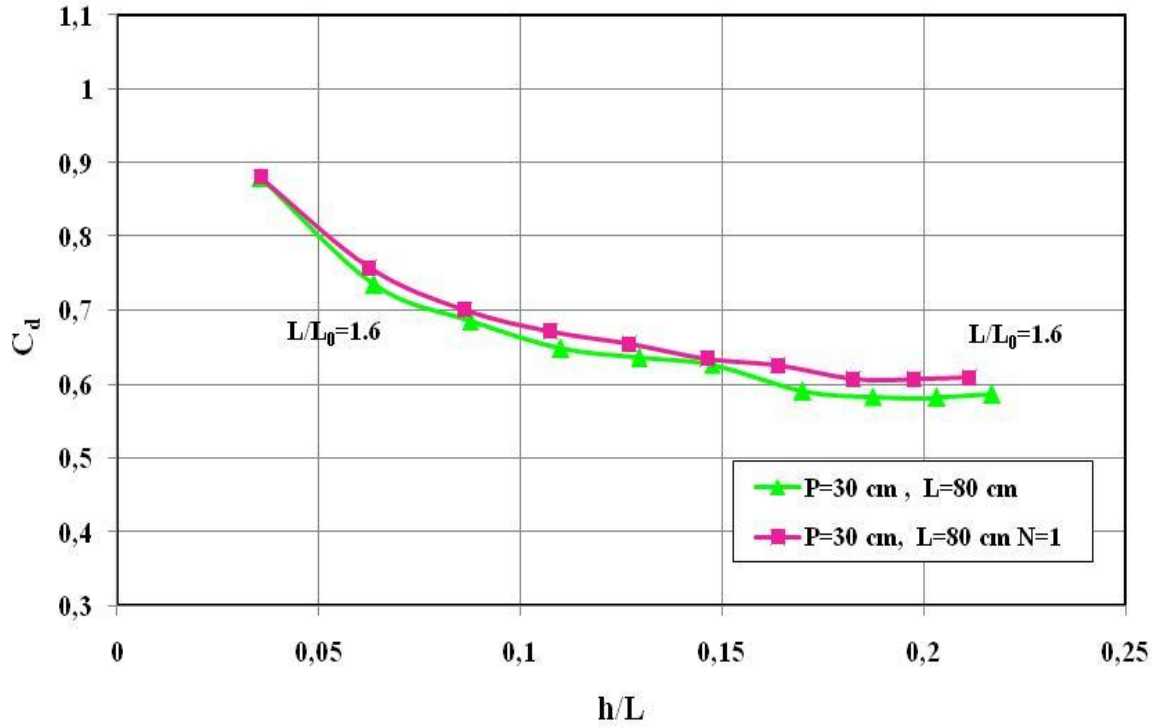
Bu bölümde lineer ve labirent savakların hidrolik karakteristikleri aynı savak yüksekliğinde ve aynı savak uzunluğunda birbiriyle karşılaştırılmaktadır. (Şekiller 4.23.-4.25).’de $P=15$ cm savak yüksekliğinde kret katsayısı C_d ile verilen h/L ’ in varyasyonu gösterilmiştir. Bu şekillerden şu yorum yapılabilir, Labirent savaklar test edilen her bir P değerinde lineer savaklardan daha büyük C_d değerlerine sahiptir.



Şekil 4.23. Labirent ve lineer savağın debi katsayısı C_d lerin karşılaştırılması (b ve c serisi)



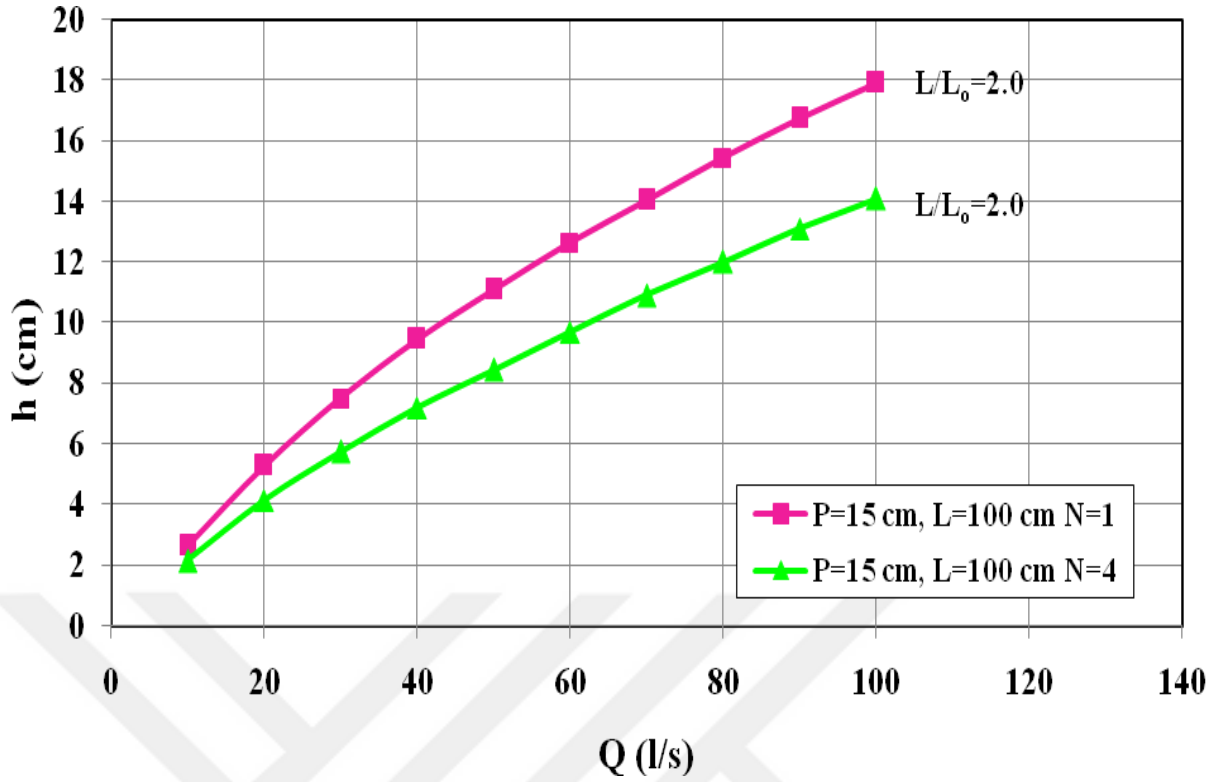
Şekil 4.24. Labirent ve lineer savağın debi katsayısı C_d lerin karşılaştırılması (b ve c serisi)



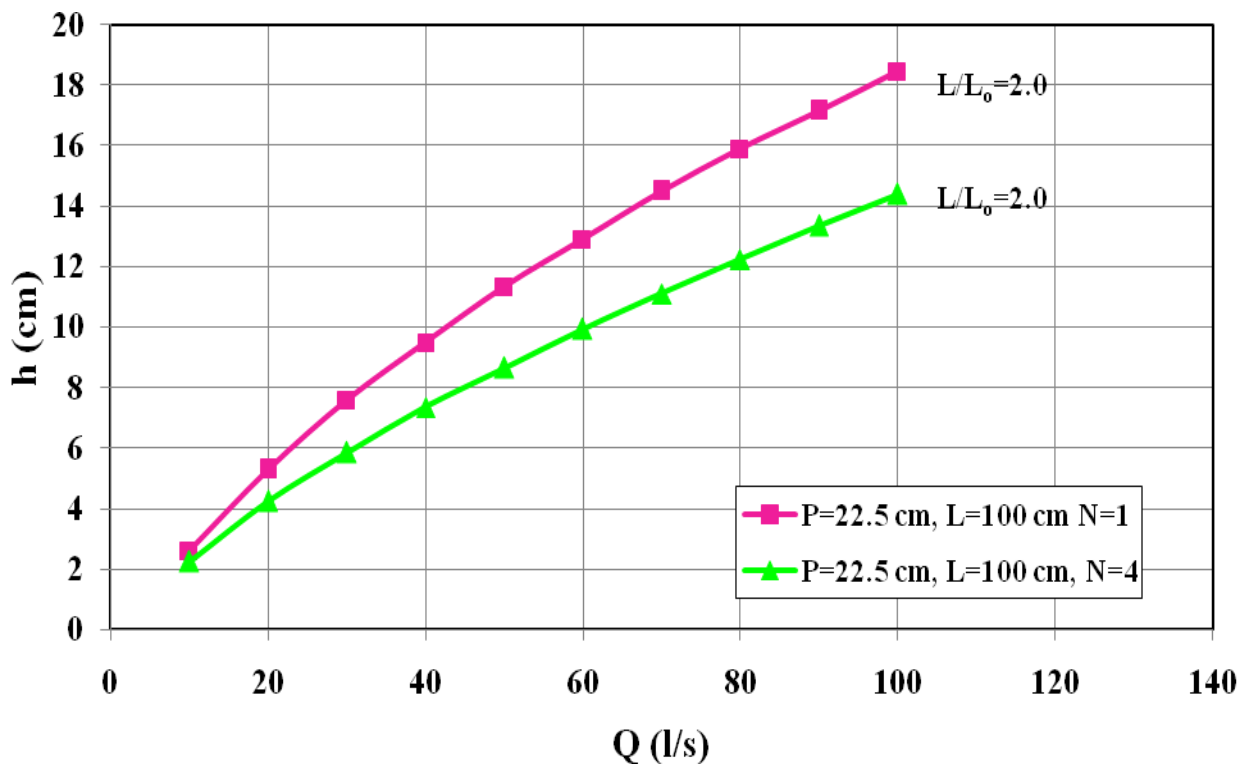
Şekil 4.25. Labirent ve lineer savağın debi katsayısı C_d lerin karşılaştırılması (b ve c serisi)

4.2.5. Labirent savaklarda savak yüksekliği ile debi kapasitesinin savak göz sayısı ile ilişkisi

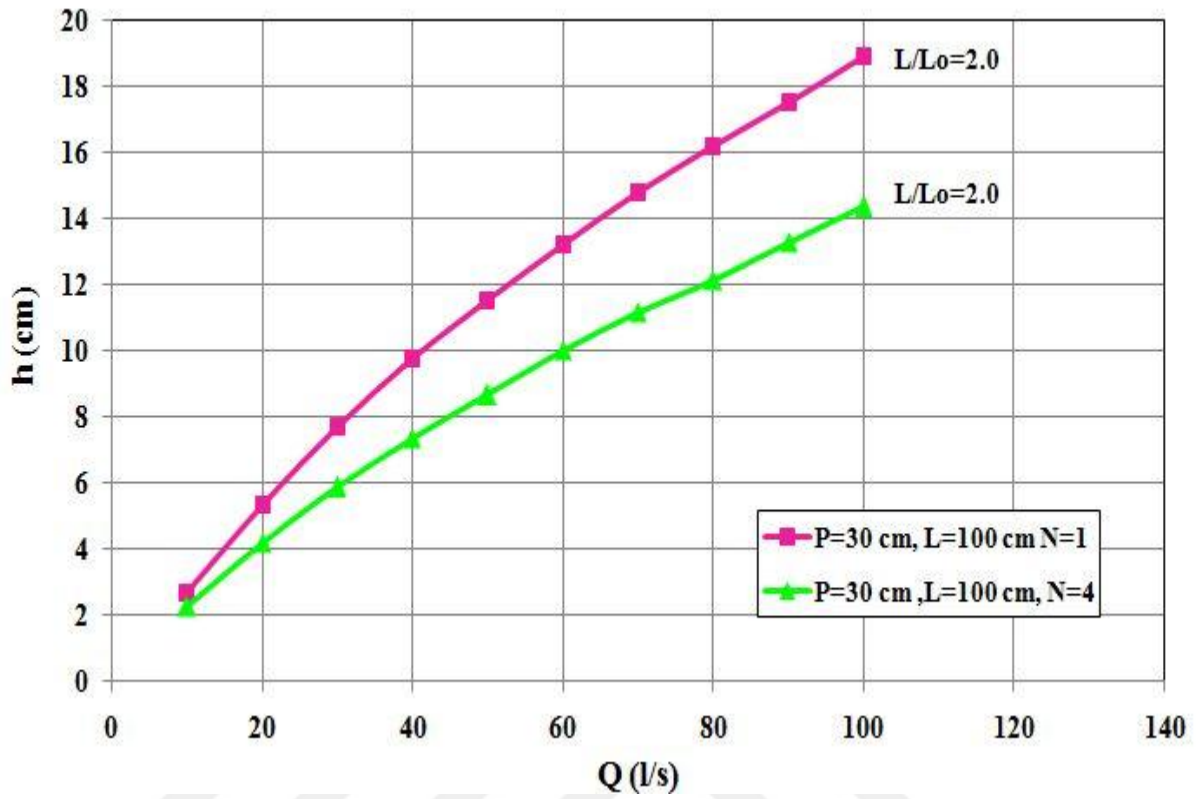
Bu bölümde savak uzunlukları ve savak yükseklikleri aynı olan fakat savak göz sayıları farklı olan iki ayrı labirent savak şekli incelenmiştir. $P=15$ cm, $P=22,5$ cm, $P=30$ cm için farklı savak yüksekliklerinde $L/L_0=2.0$ olan iki ayrı savak şekli kıyaslandığında göz sayısının birden dörde çıkmasıyla savaktan geçen su yüksekliği yaklaşık %30 oranında artmaktadır.



Şekil 4.26. Labirent savakların göz sayısının debi kapasitesine etkisi (d ve e serisi)

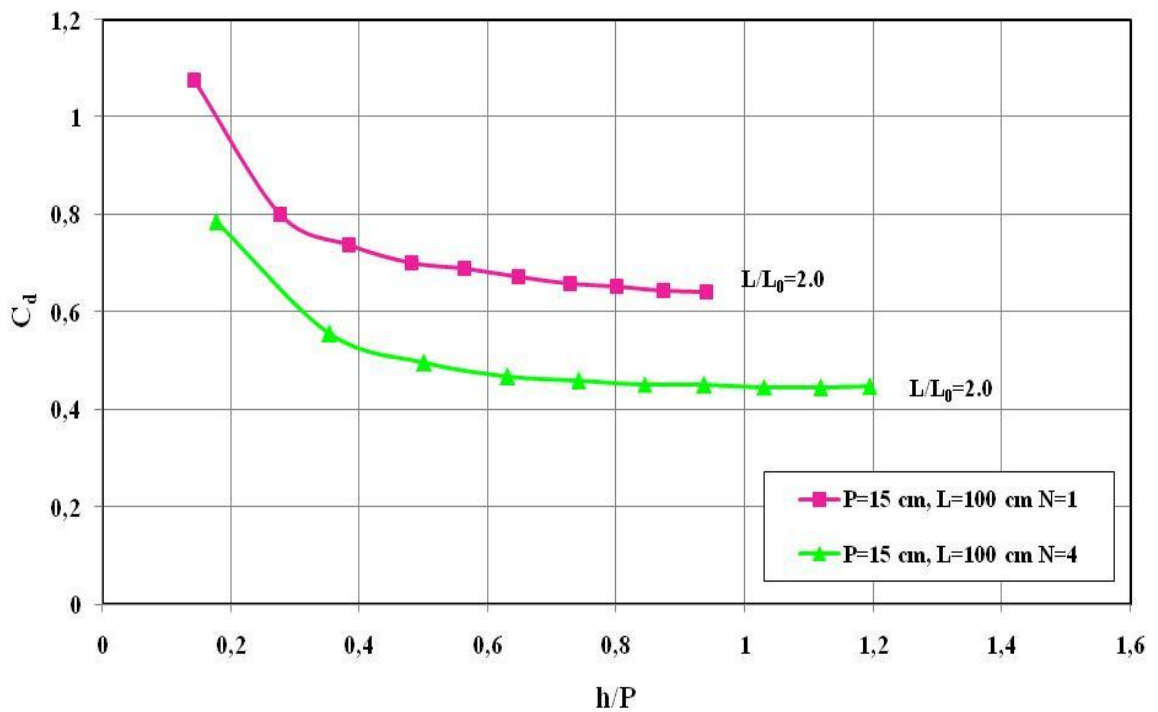


Şekil 4.27. Labirent savakların göz sayısının debi kapasitesine etkisi (d ve e serisi)

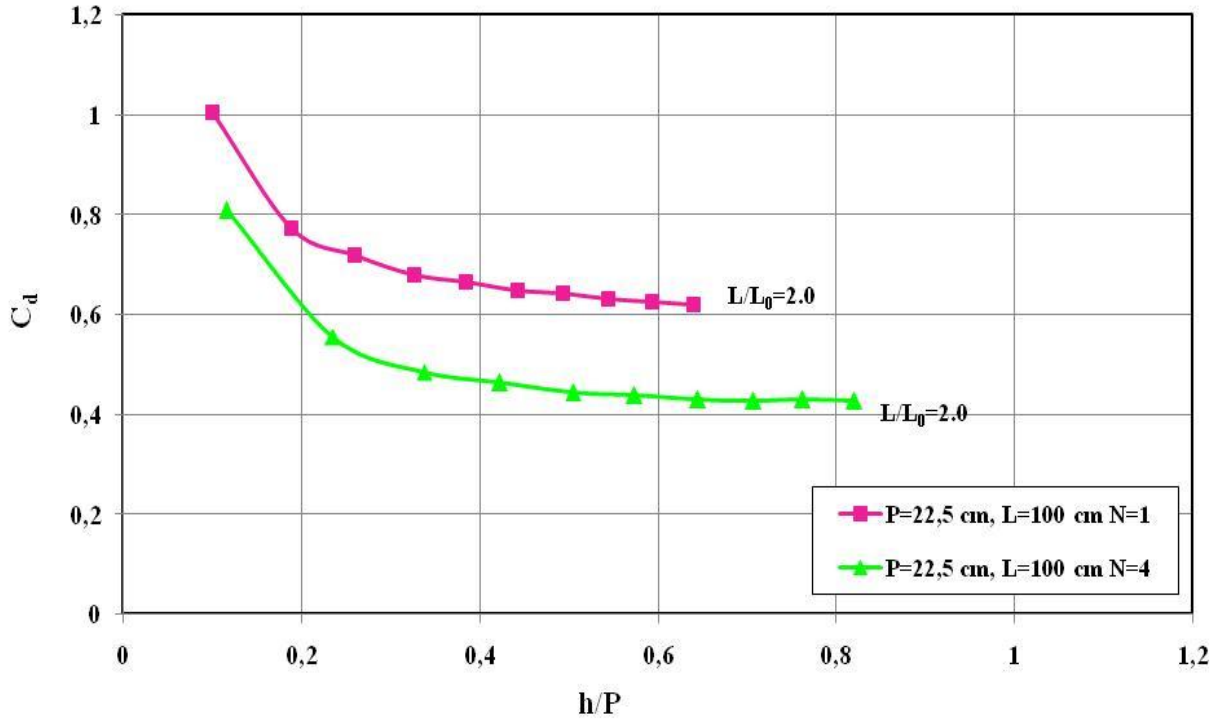


Şekil 4.28. Labirent savakların göz sayısının debi kapasitesine etkisi (d ve e serisi)

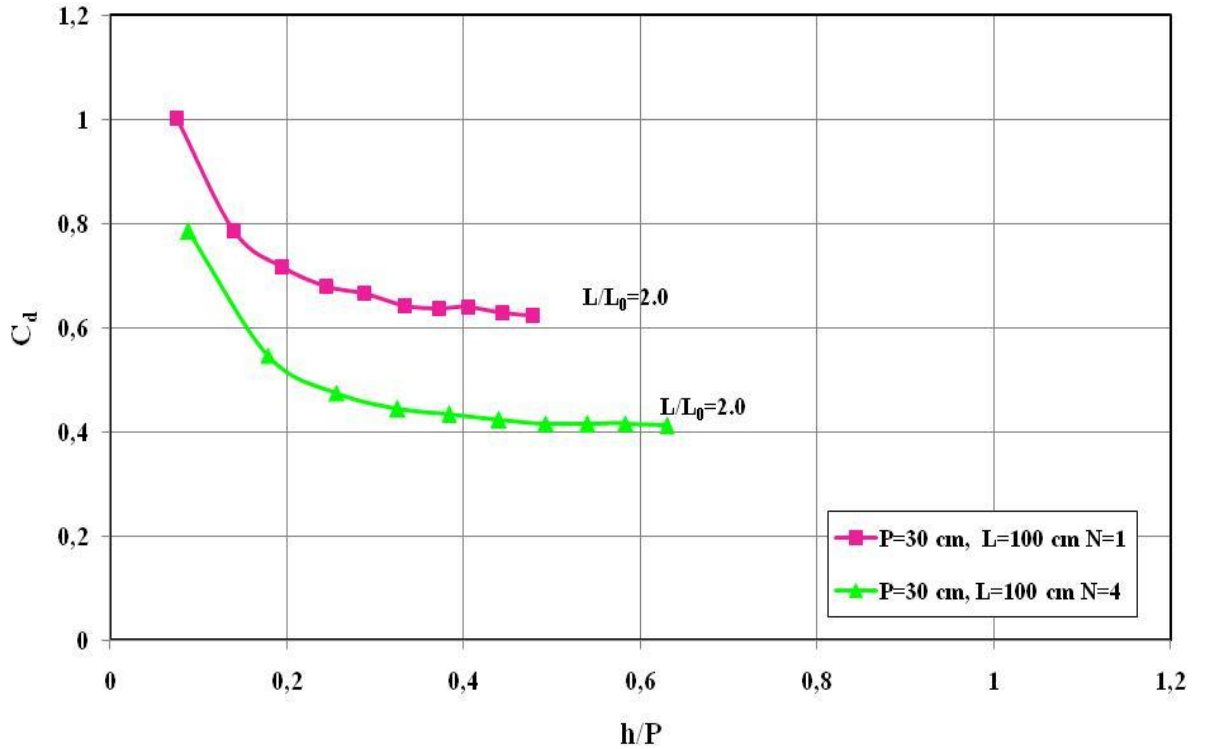
4.2.6. Labirent savaklarda C_d ile H/P arasındaki ilişkinin göz sayısı ile değişimi



Şekil 4.29. Labirent savaklarda kret katsayısı C_d ile H/P arasındaki ilişkinin göz sayısı ile değişimi (d ve e serisi)



Şekil 4.30. Labirent savaklarda kret katsayısı C_d ile H/P arasındaki ilişkinin göz sayısı ile değişimi (d ve e serisi)



Şekil 4.31. Labirent savaklarda kret katsayısı C_d ile H/P arasındaki ilişkinin göz sayısı ile değişimi (d ve e serisi)

4.1. Matematiksel model Ve Deneysel Model Karşılaştırılması

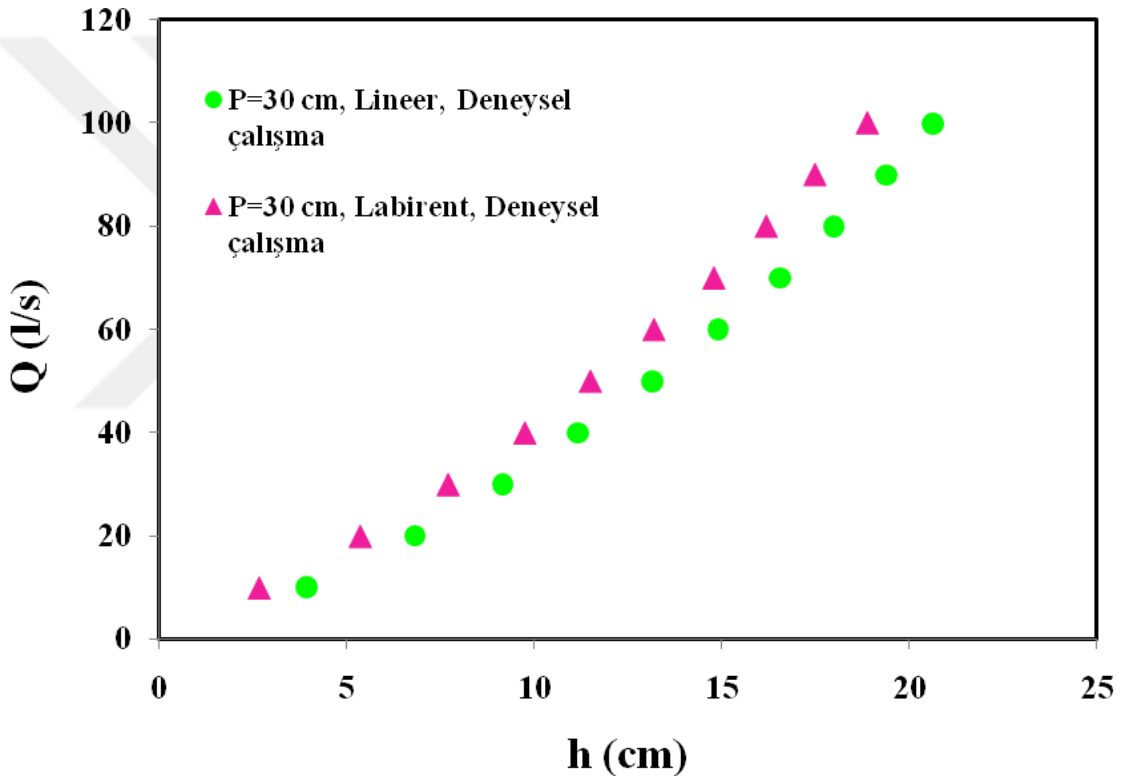
Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalarda lineer ve labirent dolusavak modellerinin dolusavak kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

Deneysel ve FLOW-3D matematiksel model çalışmalarından elde edilen memba tarafına ait, akımın uniform olduğu, artık değişmediği uniform membaya ait, debilere karşılık gelen su yükseklikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

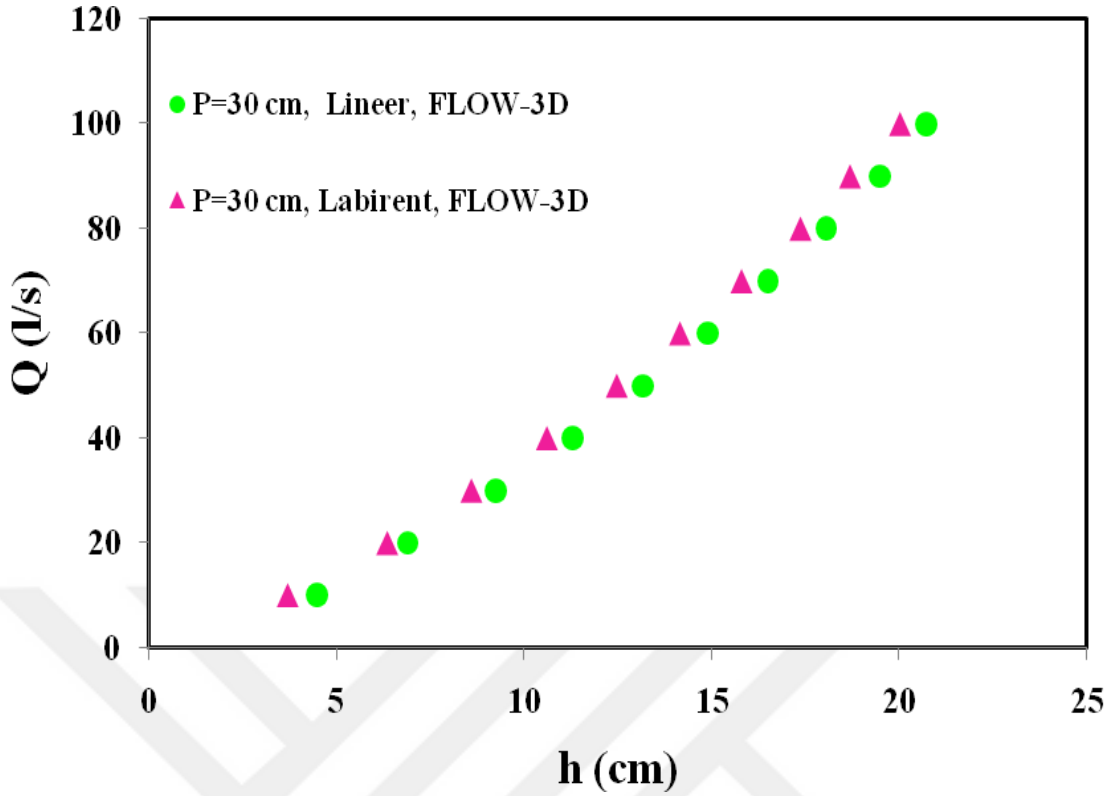
Tablo 4.1. Uniform akım debi-akım yükseklikleri

| P: Savak Yüksekliği=30 cm, L: Savak uzunluğu: $L_{\text{lineer}}=50$ cm, $L_{\text{labirent}}=100$ cm | | | | |
|--|--------------------------|----------|----------------|----------|
| Savak Şekli: Lineer Üçgen-4 açıklıklı labirent | | | | |
| Q=Debi (lt/sn) | Su derinliği (cm) | | | |
| | Deneysel Çalışma | | FLOW-3D | |
| | Lineer | Labirent | Lineer | Labirent |
| 10 | 3.90 | 2.65 | 4.48 | 3.70 |
| 20 | 6.80 | 5.35 | 6.9 | 6.35 |
| 30 | 9.15 | 7.70 | 9.24 | 8.59 |
| 40 | 11.15 | 9.75 | 11.29 | 10.60 |
| 50 | 13.15 | 11.50 | 13.16 | 12.46 |
| 60 | 14.9 | 13.20 | 14.9 | 14.14 |
| 70 | 16.55 | 14.80 | 16.5 | 15.78 |
| 80 | 18.00 | 16.20 | 18.06 | 17.35 |
| 90 | 19.40 | 17.50 | 19.49 | 18.67 |
| 100 | 20.65 | 18.90 | 20.73 | 20.00 |

Deneysel çalışma ve FLOW-3D ile yapılan çalışmaya ait sonuçlar sırası ile Şekil 4.30. a) ve 4.30. b)'de grafik olarak verilmiştir. Lineer dolusavak şekli yerine labirent dolusavak şeklinin kullanılması, savak bounun artması sebebi ile dolusavak kapasitesini artırmıştır. Örneğin, $h=10$ cm iken, dolusavak deşarj kapasitesi lineer savakda $Q=30$ lt/s iken, labirent dolusavak için $Q=40$ lt/sn dir. Sonuç olarak, labirent dolusavaklar aynı deşarj kapasitesini lineer dolusavaklara oranla daha düşük seviyedeki akım yüksekliklerinde, yani daha güvenli bir şekilde membadan mansaba deşarj edebileceklerdir. Bu durum FLOW-3D ile yapılan çalışmalarda da benzerlik göstermektedir.



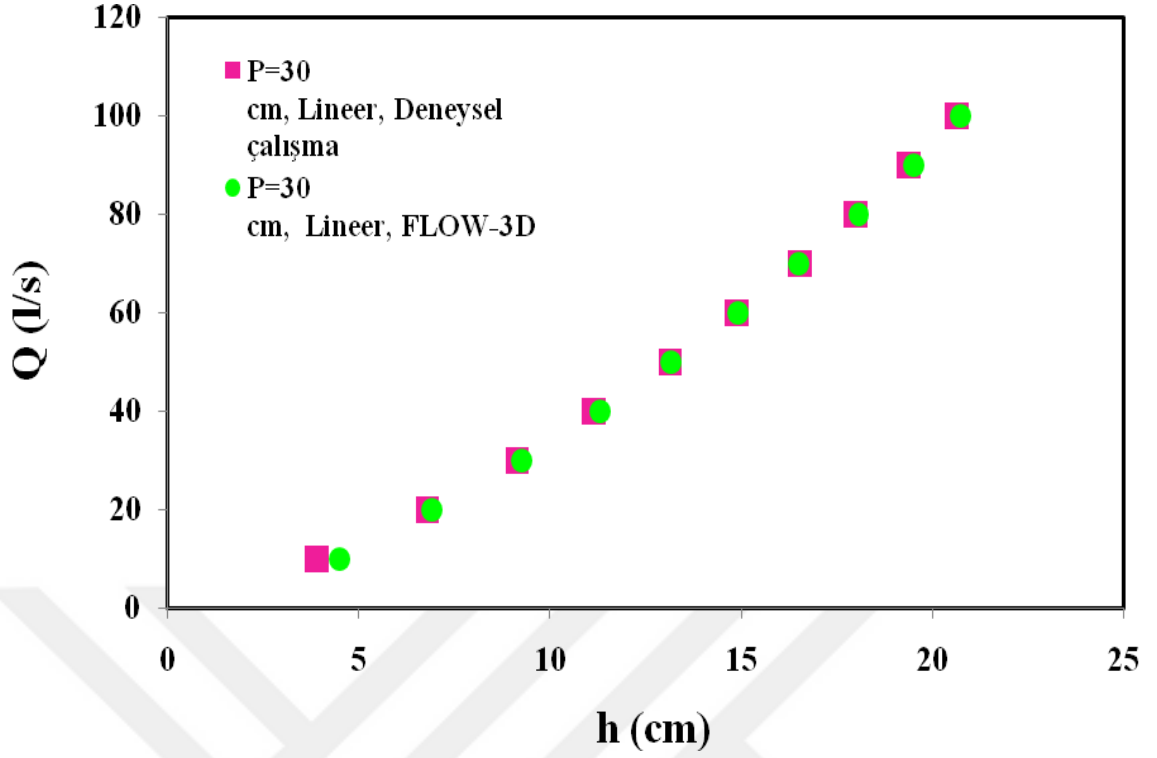
a)Deneysel çalışma



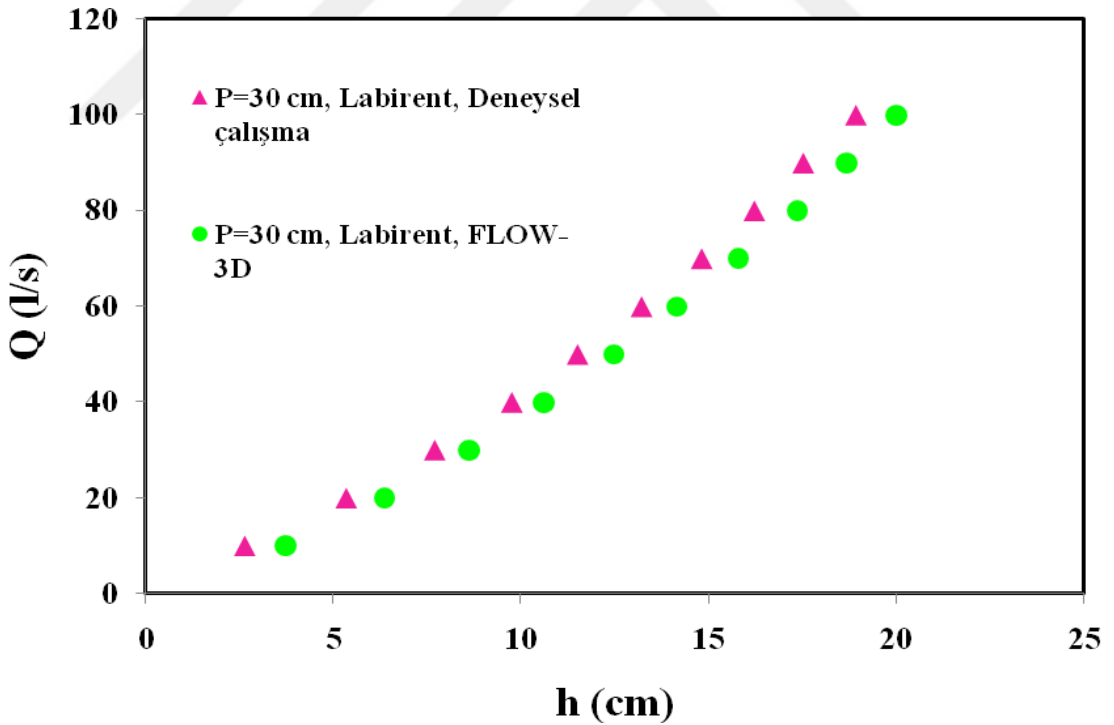
b)FLOW-3D ile yapılan çalışma

Şekil 4.32. Lineer ve labirent dolusavak şeklinin akım kapasitesine etkisi

FLOW-3D matematiksel model çalışması ile elde edilen ölçüm sonuçları deneysel çalışma ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu nedenle hem lineer hem de labirent çalışma için elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 10 a)'dan görülebileceği gibi, lineer dolusavaklar için deneysel ve Flow-3D çalışma sonuçları grafik üzerinde hemen hemen üst üste düşmektedir. Yani sonuçlar birbirine çok yakındır. Labirent dolusavak için yapılan çalışmalarda ise, az farkla da olsa sonuçlar birbirine yakın görünmektedir.



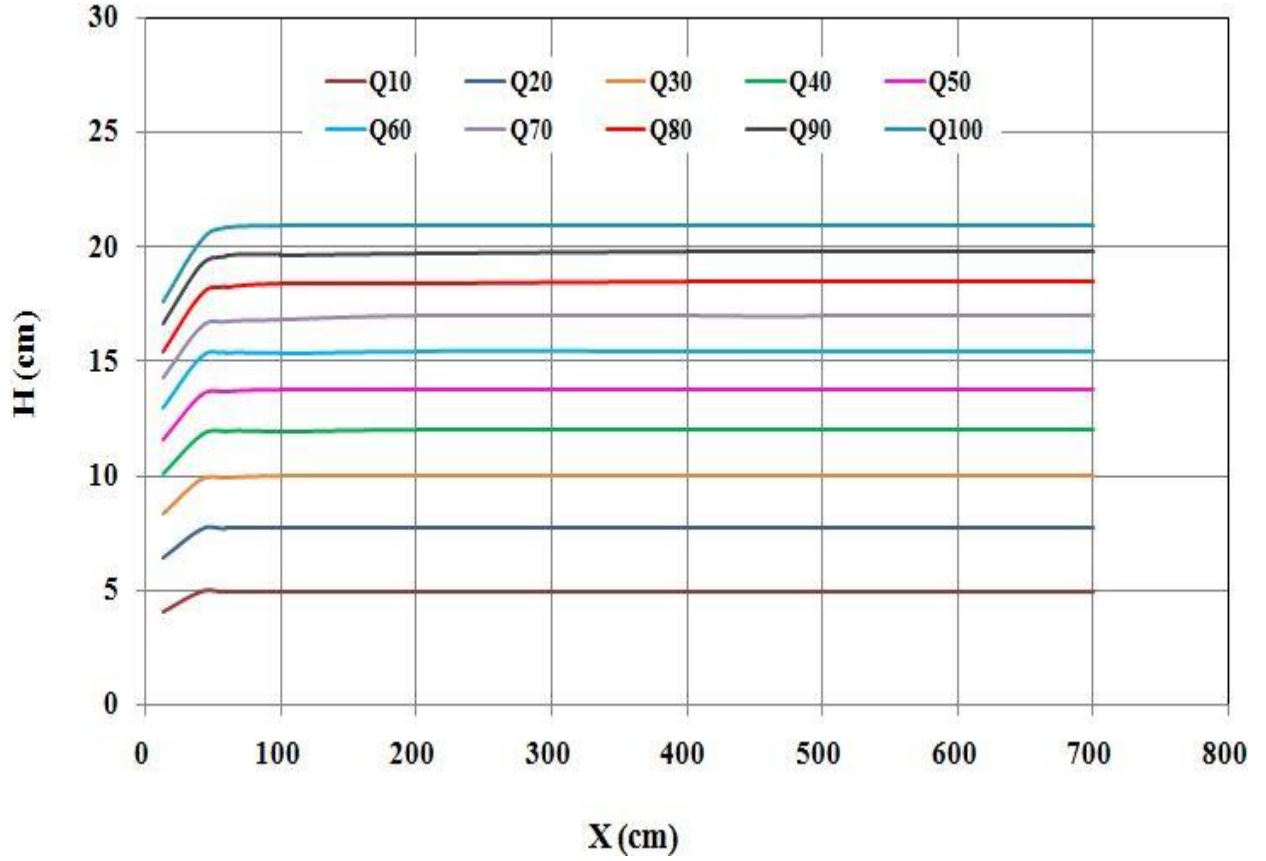
a)Deneysel çalışma



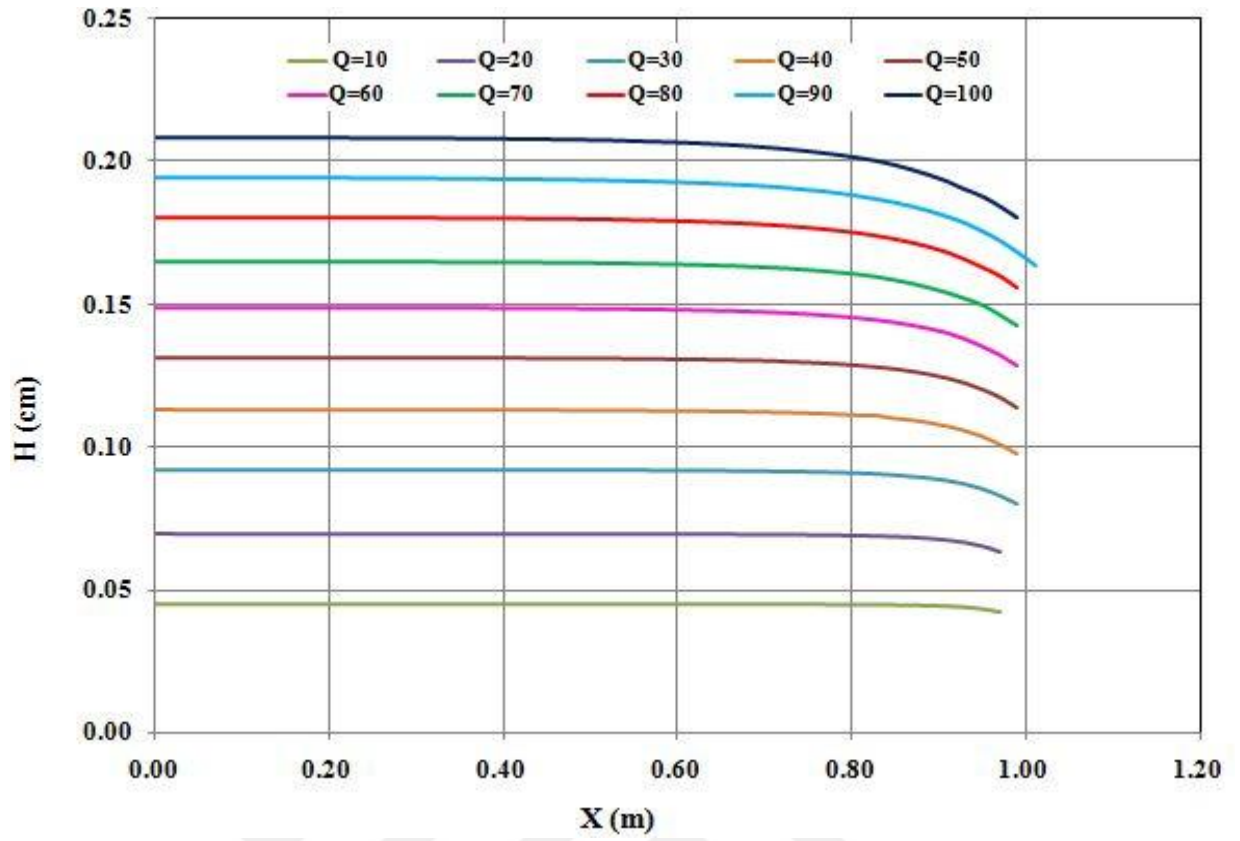
b)FLOW-3D ile yapılan çalışma

Şekil 4.33. Deneysel ve FLOW-3D model çalışmalarının karşılaştırılması

FLOW-3D ve deneysel çalışma sonucu elde edilen akım profilleri de grafik halinde çizilmiştir. $P=30$ cm ve $L=50$ cm lineer savak için elde edilen su profilleri Şekil.4.32. ve 4.33. te verilmiştir. Her iki şekilden de görüldüğü gibi debi arttıkça savak üzerinden geçen akım derinliği artmaktadır. Ayrıca FLOW-3D ve deneysel çalışmanın sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.



Şekil 4.34. Deneysel çalışmadan elde edilen su profilleri ($P=30$ cm, Lineer)



Şekil 4.35. FLOW-3D model çalışmasından elde edilen su profilleri ($P=30$ cm, Linear)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Labirent dolusavakların akım kapasitesi üzerine etkileri ile hidrolik hesaplamalarda deneysel çalışma ile FLOW-3D matematiksel hesaplamaların sonuçlarının benzerlikleri ve farklılıklarını araştırmak üzere bir dizi deney yapılmış, aynı deney şartları matematiksel model ile de çalışılmıştır. Sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalara göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Labirent dolusavakların savak boyu lineer savaklara göre daha uzun olduğu için, aynı akım şartlarında ve akım derinliğinde, aynı kanal genişliğine sahip bir lineer savağa göre daha fazla debi deşarj edebilmektedirler. Benzer şekilde, lineer savaklarda da verilen bir akım yüksekliği için dolusavak boyu uzun olan daha fazla debi deşarj edebilmektedir. $L=80$ cm ile $L=50$ cm lineer savaklar kıyaslandığı zaman verilen bir akım yüksekliği için dolusavak boyu uzadıkça deşarj edilen debi %24 artmaktadır. $L=100$ cm ile $L=80$ cm labirent dolusavaklar birbiri ile kıyaslandığı zaman dolusavak boyu artarken aynı dolusavak akım yüksekliği için deşarj kapasitesi %17'dir.

Verilen bir dolusavak uzunluğunda, dolusavak yüksekliği azaldıkça, C_d katsayısında artış izlenmektedir. $L=50$ cm lineer dolusavak test deneylerinde sabit bir h/L değeri için; $P=15$ cm dolusavak yüksekliği ile $P=22.5$ ve $P=30$ cm dolusavak yükseklikleri karşılaştırılırsa, C_d katsayılarındaki artış sırasıyla %3 ve %8'dir. $L=80$ cm lineer dolusavak için ise aynı şartlarda sonuçlar sırasıyla %2 ve %7'dir. $L=80$ cm, $N=1$ açıklıklı labirent dolusavaklarda $P=15$ cm dolusavak yüksekliği ile $P=22.5$ ve $P=30$ cm dolusavak yükseklikleri karşılaştırılırsa, C_d katsayılarındaki artış sırasıyla %5.7 ve %10'dur. $L=80$ cm, $N=4$ açıklıklı labirent dolusavaklarda ise bu artışlar %4.4 ve %9'dir. Dolusavak yüksekliğindeki azalmaya karşılık C_d katsayılarındaki artış labirent dolusavaklarda daha yüksektir.

Lineer ve labirent dolusavaklarda savak boyu arttıkça C_d katsayısı azalmaktadır.

Aynı yüksekliğe ve aynı uzunluğa sahip labirent ve lineer dolusavaklar birbiri ile karşılaştırılırsa tüm test edilen h/L oranlarında C_d değerleri labirent dolusavakta yaklaşık %15 daha büyüktür.

Deneysel çalışma sonuçları ile FLOW-3D sonuçları lineer savak için hemen hemen aynı değerlere sahip olurken, labirent dolusavak için az farkla birbirine yakın değerler göstermektedirler.

Deneysel çalışmaların daha güvenilir sonuçlar verdiği düşünölmektedir ancak laboratuvar imkanları, zaman, işçilik ve inşaat maliyeti açısından düşünöürse her zaman deneysel çalışma yapılamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Matematöksel çalışmaların hesaplamaları sırasında yapılan varsayımlar, ilk yatırım maliyeti ve eğitim zorlukları düşünöülse de, kullanım kolaylığı ve program sonuçlarının alınma süresi ve sonuçların deneysel çalışmalara ve gerçek sonuçlara benzerliği gözönünde bulundurulmalıdır.



KAYNAKLAR

- Amanian, N., (1987). “ Performance and design of labyrinth spillways “ MSc thesis Utah State University, Logan, Utah.
- Aydın, M. C. (2012). “CFD simulation of free-surface flow over triangular bayrinth side weir. ” *Advances in Engineering Software*, Vol. 45, No. 1, pp. 159-166, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2011.09.006.
- Aydın, M. C. and Emiroğlu, M.E. (2013). “Determination of capacity of labyrinth side weir by CFD.” *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 29, pp. 1-8, DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2012.09.008.
- Azamathulla, H. (2014). “Discussion of “Orifice spillway aerator: Hydraulic design” by V. V. Bhosekar, V. Jothiprakash, and P. B. Deolalikar.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 141, No. 1, 07014016-1, DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000932.
- Azamathulla, H. M. and Ahmad, Z. (2013). “Estimation of critical velocity for slurry transport through pipeline using adaptive neurofuzzy interference system and gene –expression programming.” *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, Vol. 4, No. 2, pp. 131-137, DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000123.
- Azamathulla, H. and Ahmad, Z. (2014). “Closure to “Estimation of critical velocity for slurry transport through pipeline using adaptive neuro-fuzzy interference system and gene-expression programming.” by H. Md. Azamathulla and Z. Ahmad. ” *Journal of Ppipeline Systems Engineering and Practice*, DOI: 10.1061/(ASCE)PS. 1949- 1204.0000192 (In pres).
- Azamathulla, H. M., Deo, M. C., and Deolalikar, P. B. (2008). “Alternative neural Networks to estimate the scour below spillways. ” *Advances in Engineering Software*, Vol. 39, No. 8, pp. 689-698, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2007.07.004.
- Barati, R. (2011). “Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using Nelder- Mead simplex algorithm.” *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 16, No. 11, pp. 946-954, DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000379.
- Barati, R. (2013). “Aplication of Excel solver for parameter estimation of the nonlinear Muskingum models.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 17, No. 5, pp. 1139-1148, DOI: 10.1007/s12205-013-0037-2.
- Bilhan, O., Emiroğlu, M. E., and Kişi, O. (2011). “Use of artificial neural Networks for prediction of discharge coefficient of triangular labyrinth side weir in curved channels.” *Advances in Engineering Software*, Vol. 42, No. 4, pp. 208-214, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2011.02.006.
- Blanc P. and Lempeiere F. (2001) “ Labyrinth spillways have a promising future” Reprinted from *Hydropower and Dams* Issue Four, 2001

- Blanc P. and Lempeiere F. (2003) “ The Piano Keys Weir: a new cost effective solution for spillways” Reprinted from Hydropower and Dams Issue Four, 2003
- Cassidy, J.J., Gardner, C.A., and Peacock R.T. (1985) “ Boardman labyrinth crest ” J,Hydr, Engrg. ASCE 11 (3).
- Crookston, B. M. (2010). *Labyrinth weirs*, PhD Thesis, Utah State University.
- Crookston, B. M. and Tullis, B. P. (2012). “Labyrinth weirs: Nappe interference and local submergence. ” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 138, No. 8, pp. 757-765, DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774..0000466.
- Crookston, B. M. and Tullis, B. P. (2013). “ Hydraulic design and analysis of labyrinth weirs. I: Discharge relationships.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 139, No. 5, pp. 363-370, DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000558.
- Dabling, M. R., Tullis, B. P., and Crookston, B. M. (2013). “Staged labyrinth weir hydraulics. ” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 139, No. 11, pp. 955-960, DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000558.
- Darvas, L. A. (1971) “Discussion on performance and design of labyrinth weirs” *Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E.* p. 1246-1251.
- Emiroğlu, M. E. and Kişi, O. (2013). “Prediction of discharge coefficient for trapezoidal labyrinth side weir using a neuro-fuzzy approach.” *Water Resources Management*, Vol. 27, No. 5, pp. 1473-1488, DOI: 10.1007/s11269-012-0249-0.
- Emiroğlu, M. E., Bilhan, O., and Kişi, O. (2011). “Neural Networks for estimation of discharge capacity of triangular labyrinth side-weir located on a straight channel. ” *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 1, pp. 867-874, DOI: 10.1016/J.j.eswa.2010.07.058.
- Emiroğlu, M. E., Cihan Aydin, M., and Kaya, N. (2014). “Discharge characteristics of a trapezoidal labyrinth side weir with one and two cycles in subcritical flow.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 140, No. 5, 04014007-04014007-13, DOI: 10.1061/(ASCE)IR. 1943-4774.0000709.
- Emiroğlu, M. E., Kişi, O., and Bilhan, O. (2010). “Predicting discharge capacity of triangular labyrinth side weir located on a straight channel by using an adaptive neuro- fuzzy technique. ” *Advances in Engineering Software*, Vol. 41, No. 2, pp. 154-160, DOI:10.1016/j.advengsoft.2009.09.006.
- Emiroğlu, M, E, (2010). “Estimating Flow Characteristics of Different Weir Types and Optimum Dimensions of Downstream Receiving Pool” *Journal of Hydrology and Hydromechanics*.
- Falvey, H.T. (2003). “Hydraulic Design of Labyrinth Weirs.” *ASCE Press Pub., Virginia, USA*.

- Falvey, H. and Treille, P. (1995). "Hydraulics and design of fusegates." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No. 7, pp. 512-518, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:7(512).
- Flow-3D User's Manual (2012). Flow Science, Inc., Santa Fe, N.M.
- Ghare, A. D., Mhaisalkar, V. A., and Porey, P. D. (2008). "An approach to optimal design of trapezoidal labyrinth weirs." *World Applied Sciences Journal*, Vol. 3, No. 6, pp. 934-938.
- Gessler, D. (2005). "CFD Modeling of Spillway Performance." *Proc. World and Environmental Resources Congress 2005*, Raymond Walton-Editor, May 15-19. Anchorage, Alaska, USA.
- Hay, N. and Taylor, G. (1971) "Performance and design of labyrinth weirs" *Journal of Hydraulics Division, A.S.C.E.* Vol. 96, No. HY11, p. 2337-2357.
- Hinchliff, D.L., and Houston, K.L., (1984) "Hydraulic design an application of labyrinth spillways" *Proc, USCOLD Lecture Dam Safety and Rehabilitation, USCOLD Denver.*
- Houston, K. L., (1982). "Hydraulic model study of the Ute Dam labyrinth spillway" Rep, No, GR, 82. 7. Bureau of Reclamation Denver, Colorado.
- Houston, K. L., (1982). "Hydraulic model study of Ute Dam labyrinth spillway" Rep, No, GR, 82. 7. Bureau of Reclamation Logan, New Mexico.
- Houston, K. L., (1991). "Hydraulic model study of Ritschard Dam labyrinth spillway" Rep, No, R, 91. 08. Bureau of Reclamation Logan, Utah.
- Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981). "Volume of fluid (VOF) method for the Dynamics of free boundaries." *J.Comp. Physics*, Vol. 39, 201-225.
- Hirt, C.W. and Sicilian, J.M., (1985). "A Porosity Technique for the Definition of Obstacles in Rectangular cell meshes." *Proc. 4th International Conf. Ship Hydro.*, Nat. Academy of Science, Washington, DC.
- Ho, D.K.H., Boyes, K.M., and Donohoo, S.M. (2001). "Investigation of Spillway Behavior under Increased Maximum Flood by Computational Fluid Dynamics Technique." *Proc. 14th Australasian Fluid Mechanics Conference*, Adelaide University, Adelaide, Australia. December 10-14.
- Julien, Pierre. CIVE 401- Notes on Spillways by Prof. Pierre Jullien (11-11-14)
- Kaş, I., (1986) "Belkaya Barajı Yan Doluavak Model Çalışmaları Raporu" Rapor No Hİ-909 DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, Ankara/TURKEY
- Kayatürk, Ş. Y. (2003) "Keskin Kenarlı Doğrusal Savakların Hidrolik Özellikleri" I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, p. 283-294, İzmir, Türkiye.

- Kim S. D. Lee H. J. and An S. D. (2010). "Improvement of hydraulic stability for spillway using CFD model" *Int. Journal of the Physical Sciences*, Vol. 5(6), pp:774-780.
- Kumcu, Y. (1997) "Hydraulic characteristics of sharp-crested weirs with application to labyrinth spillways" Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Lemperiere F. and Quamane A. (2003). "Official Journal of the INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION "
- Lux, F. III., (1984). "Discharge characteristics of labyrinth weirs". Proc, ACE Hydr, Div, Speciality Conf, ASCE, New York , N.Y.
- Mayer, P. G., (1980). "Bartletts Ferry Project labyrinth weir model studies." Proj. No. E-20-610 Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Marcelo, v.d., 2009, *Hidraulic Capacity Improvement of Eisting Spillway Design of Piano Key Weirs*, commission internationale Des Grands Barrages, Brasilia.
- Meeks, M. C. (1983). "The design and construction of the Bartletts Ferry labyrinth weir spillway. " *Occasional Paper*, Power Supply Engrg. And Services Dept., Georgia Power Company, Atlanta, Ga.
- Paxson, G, Campbell, D., and Monroe , J. (2011). "Evolving design approaches and considerations for labyrinth spillways." *USSD Conference*, U. S. Society on Dams, San Diego, pp. 1645-1666.
- Price, K., Storn, R. M., and Lampinen, J. A. (2006). *Differential evolution: A practical approach to global to global optimization*, Springer.
- Pierre, J. (2014). "Notes on Spillways by Prof. Pierre Jullien " CIVE 401.
- Robertson, G. K. (2014). Labyrinth weir hydraulics: Vlidation of CFD modelling, MSc Thesis, Stellenboch University.
- Seamons, T. R. (2014). Labyrinth weirs: *A look into geometric variation and its effect on efficiency and design method predictions*, MSc Thesis, Utah State University.
- Shahheydari, H., Jafari Nodoshan , E., Barati, R., and Azhdary Moghadam , M. (2014). "Discharge coefficient and energy dissipation over stepped spillway under skimming flow regime." *KSCE Journal of Civil Engineering*, DOI: 10.1007/s12205-013-0749-3.
- Tullis, P., Amanian, N., and Waldron, D., (1995) "Design of labyrinth spillways" *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No. 3, p. 247–255.

- Quamane. (2006). “Design of a new economic shape of weir. ” *Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21 st Century*, Vol. 18, pp. 463-470.
- Vermeyen, T. (1991). *Hydraulic model study of Ritschard dam spillways*, Bureau of Reclamation, Denver.
- Vermeyen T. B. Merritt, D. H., and Taylor, G. M., (1991). “Design of High Capacity Spillways for Ritschard Dam” National Conference on Hydraulic Engineering Proceedings of A.S.C.E., USA, p. 394-399.
- Willey J. Ewing T., Wark B. and Lesleighter E. (2012). “Complementary use of physical and numerical modeling techniques in spillway design refinement” Commission Internationale Des Grands Barrages, Kyoto, June2012.
- Wormleaton, P. R. and Tsang, C. C. (2000). “Aeration performance of rectangular planform labyrinth weirs.” *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 126, No. 5 pp. 456-465, DOI: 10.1061/(ASCE) 0733-9372(2000)126:5(456).

EKLER

Tablo-1 a Serisi Savaklar için Hesaplanan ve Ölçülen Değerler

| a serisi ; a1 , P=15 cm , L=50 cm | | | | | a serisi ; a2 , P=22,5 cm | | | | | a serisi ; a3 , P=30 cm | | | | |
|-----------------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|
| h (cm) | h/P | h/L ₀ | Q ₀ (l/s) | Cd ₀ | h (cm) | h/P | h/L ₀ | Q ₀ (l/s) | Cd ₀ | h (cm) | h/P | h/L ₀ | Q ₀ (l/s) | Cd ₀ |
| 2 | 0.133 | 0.04 | 4.41 | 1.0553 | 2 | 0.089 | 0.04 | 4.72 | 1.1295 | 2 | 0.067 | 0.04 | 4.85 | 1.1606 |
| 3 | 0.200 | 0.06 | 7.45 | 0.9705 | 3 | 0.133 | 0.06 | 7.64 | 0.9957 | 3 | 0.100 | 0.06 | 7.50 | 0.9776 |
| 4 | 0.267 | 0.08 | 10.76 | 0.9110 | 4 | 0.178 | 0.08 | 10.82 | 0.9161 | 4 | 0.133 | 0.08 | 10.43 | 0.8826 |
| 5 | 0.333 | 0.10 | 14.35 | 0.8694 | 5 | 0.222 | 0.10 | 14.26 | 0.8640 | 5 | 0.167 | 0.10 | 13.62 | 0.8252 |
| 6 | 0.400 | 0.12 | 18.22 | 0.8396 | 6 | 0.267 | 0.12 | 17.97 | 0.8279 | 6 | 0.200 | 0.12 | 17.09 | 0.7876 |
| 7 | 0.467 | 0.14 | 22.36 | 0.8178 | 7 | 0.311 | 0.14 | 21.93 | 0.8019 | 7 | 0.233 | 0.14 | 20.83 | 0.7618 |
| 8 | 0.533 | 0.16 | 26.78 | 0.8016 | 8 | 0.356 | 0.16 | 26.15 | 0.7827 | 8 | 0.267 | 0.16 | 24.85 | 0.7437 |
| 9 | 0.600 | 0.18 | 31.48 | 0.7896 | 9 | 0.400 | 0.18 | 30.63 | 0.7684 | 9 | 0.300 | 0.18 | 29.13 | 0.7307 |
| 10 | 0.667 | 0.20 | 36.45 | 0.7806 | 10 | 0.444 | 0.20 | 35.37 | 0.7576 | 10 | 0.333 | 0.20 | 33.69 | 0.7215 |
| 11 | 0.733 | 0.22 | 41.69 | 0.7740 | 11 | 0.489 | 0.22 | 40.38 | 0.7495 | 11 | 0.367 | 0.22 | 38.52 | 0.7150 |
| 12 | 0.800 | 0.24 | 47.22 | 0.7693 | 12 | 0.533 | 0.24 | 45.64 | 0.7436 | 12 | 0.400 | 0.24 | 43.62 | 0.7107 |
| 13 | 0.867 | 0.26 | 53.02 | 0.7661 | 13 | 0.578 | 0.26 | 51.16 | 0.7392 | 13 | 0.433 | 0.26 | 48.99 | 0.7079 |
| 14 | 0.933 | 0.28 | 59.09 | 0.7640 | 14 | 0.622 | 0.28 | 56.94 | 0.7362 | 14 | 0.467 | 0.28 | 54.64 | 0.7064 |
| 15 | 1.000 | 0.30 | 65.44 | 0.7629 | 15 | 0.667 | 0.30 | 62.98 | 0.7343 | 15 | 0.500 | 0.30 | 60.55 | 0.7059 |
| 16 | 1.067 | 0.32 | 72.07 | 0.7627 | 16 | 0.711 | 0.32 | 69.29 | 0.7332 | 16 | 0.533 | 0.32 | 66.74 | 0.7063 |
| 17 | 1.133 | 0.34 | 78.97 | 0.7631 | 17 | 0.756 | 0.34 | 75.85 | 0.7329 | 17 | 0.567 | 0.34 | 73.20 | 0.7073 |
| 18 | 1.200 | 0.36 | 86.15 | 0.7641 | 18 | 0.800 | 0.36 | 82.67 | 0.7332 | 18 | 0.600 | 0.36 | 79.94 | 0.7089 |

Tablo-2 b Serisi Savaklar için Hesaplanan ve Ölçülen Değerler

| b serisi ; b1 , P=15 cm | | | | | b serisi ; b2 , P=22,5 cm | | | | | b serisi ; b3 , P=30 cm | | | | |
|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|
| h (cm) | h/P | h/L ₁ | Q ₁ (l/s) | Cd ₁ | h (cm) | h/P | h/L ₁ | Q ₁ (l/s) | Cd ₁ | h (cm) | h/P | h/L ₁ | Q ₁ (l/s) | Cd ₁ |
| 2 | 0.133 | 0.03 | 7.03 | 1.6824 | 2 | 0.089 | 0.03 | 6.97 | 1.6695 | 2 | 0.067 | 0.03 | 6.63 | 1.5869 |
| 3 | 0.200 | 0.04 | 11.58 | 1.5090 | 3 | 0.133 | 0.04 | 11.52 | 1.5012 | 3 | 0.100 | 0.04 | 10.84 | 1.4124 |
| 4 | 0.267 | 0.05 | 16.35 | 1.3844 | 4 | 0.178 | 0.05 | 16.28 | 1.3781 | 4 | 0.133 | 0.05 | 15.30 | 1.2951 |
| 5 | 0.333 | 0.06 | 21.35 | 1.2934 | 5 | 0.222 | 0.06 | 21.26 | 1.2876 | 5 | 0.167 | 0.06 | 20.01 | 1.2122 |
| 6 | 0.400 | 0.08 | 26.57 | 1.2246 | 6 | 0.267 | 0.08 | 26.45 | 1.2188 | 6 | 0.200 | 0.08 | 24.98 | 1.1509 |
| 7 | 0.467 | 0.09 | 32.02 | 1.1710 | 7 | 0.311 | 0.09 | 31.86 | 1.1650 | 7 | 0.233 | 0.09 | 30.19 | 1.1041 |
| 8 | 0.533 | 0.10 | 37.69 | 1.1282 | 8 | 0.356 | 0.10 | 37.48 | 1.1219 | 8 | 0.267 | 0.10 | 35.66 | 1.0674 |
| 9 | 0.600 | 0.11 | 43.59 | 1.0934 | 9 | 0.400 | 0.11 | 43.32 | 1.0867 | 9 | 0.300 | 0.11 | 41.38 | 1.0381 |
| 10 | 0.667 | 0.13 | 49.71 | 1.0646 | 10 | 0.444 | 0.13 | 49.38 | 1.0576 | 10 | 0.333 | 0.13 | 47.36 | 1.0142 |
| 11 | 0.733 | 0.14 | 56.05 | 1.0405 | 11 | 0.489 | 0.14 | 55.65 | 1.0332 | 11 | 0.367 | 0.14 | 53.58 | 0.9947 |
| 12 | 0.800 | 0.15 | 62.62 | 1.0202 | 12 | 0.533 | 0.15 | 62.14 | 1.0125 | 12 | 0.400 | 0.15 | 60.06 | 0.9785 |
| 13 | 0.867 | 0.16 | 69.41 | 1.0029 | 13 | 0.578 | 0.16 | 68.85 | 0.9948 | 13 | 0.433 | 0.16 | 66.79 | 0.9650 |
| 14 | 0.933 | 0.18 | 76.42 | 0.9881 | 14 | 0.622 | 0.18 | 75.77 | 0.9796 | 14 | 0.467 | 0.18 | 73.77 | 0.9538 |
| 15 | 1.000 | 0.19 | 83.66 | 0.9753 | 15 | 0.667 | 0.19 | 82.91 | 0.9665 | 15 | 0.500 | 0.19 | 81.00 | 0.9443 |
| 16 | 1.067 | 0.20 | 91.12 | 0.9643 | 16 | 0.711 | 0.20 | 90.26 | 0.9552 | 16 | 0.533 | 0.20 | 88.49 | 0.9364 |
| 17 | 1.133 | 0.21 | 98.81 | 0.9548 | 17 | 0.756 | 0.21 | 97.83 | 0.9453 | 17 | 0.567 | 0.21 | 96.22 | 0.9298 |
| 18 | 1.200 | 0.23 | 106.72 | 0.9465 | 18 | 0.800 | 0.23 | 105.61 | 0.9366 | 18 | 0.600 | 0.23 | 104.21 | 0.9242 |

Tablo-3 c Serisi Savaklar için Hesaplanan ve Ölçülen Değerler

| c serisi ; c1 , P=15 cm | | | | | c serisi ; c2 , P=22,5 cm | | | | | c serisi ; c3 , P=30 cm | | | | |
|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|
| h (cm) | h/P | h/L ₂ | Q ₂ (l/s) | Cd ₂ | h (cm) | h/P | h/L ₂ | Q ₂ (l/s) | Cd ₂ | h (cm) | h/P | h/L ₂ | Q ₂ (l/s) | Cd ₂ |
| 2 | 0.133 | 0.03 | 6.59 | 1.5785 | 2 | 0.089 | 0.03 | 3.81 | 0.9128 | 2 | 0.067 | 0.03 | 6.33 | 1.5160 |
| 3 | 0.200 | 0.04 | 11.39 | 1.4849 | 3 | 0.133 | 0.04 | 4.62 | 0.6018 | 3 | 0.100 | 0.04 | 10.64 | 1.3874 |
| 4 | 0.267 | 0.05 | 16.47 | 1.3945 | 4 | 0.178 | 0.05 | 5.74 | 0.4863 | 4 | 0.133 | 0.05 | 15.23 | 1.2896 |
| 5 | 0.333 | 0.06 | 21.83 | 1.3225 | 5 | 0.222 | 0.06 | 7.19 | 0.4357 | 5 | 0.167 | 0.06 | 20.10 | 1.2175 |
| 6 | 0.400 | 0.08 | 27.47 | 1.2660 | 6 | 0.267 | 0.08 | 8.96 | 0.4131 | 6 | 0.200 | 0.08 | 25.24 | 1.1631 |
| 7 | 0.467 | 0.09 | 33.39 | 1.2211 | 7 | 0.311 | 0.09 | 11.06 | 0.4044 | 7 | 0.233 | 0.09 | 30.66 | 1.1211 |
| 8 | 0.533 | 0.10 | 39.59 | 1.1851 | 8 | 0.356 | 0.10 | 13.47 | 0.4032 | 8 | 0.267 | 0.10 | 36.35 | 1.0880 |
| 9 | 0.600 | 0.11 | 46.07 | 1.1557 | 9 | 0.400 | 0.11 | 16.21 | 0.4066 | 9 | 0.300 | 0.11 | 42.32 | 1.0615 |
| 10 | 0.667 | 0.13 | 52.83 | 1.1315 | 10 | 0.444 | 0.13 | 19.27 | 0.4127 | 10 | 0.333 | 0.13 | 48.56 | 1.0401 |
| 11 | 0.733 | 0.14 | 59.87 | 1.1115 | 11 | 0.489 | 0.14 | 22.65 | 0.4205 | 11 | 0.367 | 0.14 | 55.08 | 1.0226 |
| 12 | 0.800 | 0.15 | 67.19 | 1.0948 | 12 | 0.533 | 0.15 | 26.35 | 0.4294 | 12 | 0.400 | 0.15 | 61.88 | 1.0082 |
| 13 | 0.867 | 0.16 | 74.79 | 1.0807 | 13 | 0.578 | 0.16 | 30.38 | 0.4389 | 13 | 0.433 | 0.16 | 68.95 | 0.9964 |
| 14 | 0.933 | 0.18 | 82.67 | 1.0689 | 14 | 0.622 | 0.18 | 34.72 | 0.4490 | 14 | 0.467 | 0.18 | 76.30 | 0.9866 |
| 15 | 1.000 | 0.19 | 90.83 | 1.0589 | 15 | 0.667 | 0.19 | 39.39 | 0.4593 | 15 | 0.500 | 0.19 | 83.93 | 0.9785 |
| 16 | 1.067 | 0.20 | 99.27 | 1.0506 | 16 | 0.711 | 0.20 | 44.38 | 0.4697 | 16 | 0.533 | 0.20 | 91.83 | 0.9718 |
| 17 | 1.133 | 0.21 | 107.99 | 1.0435 | 17 | 0.756 | 0.21 | 49.70 | 0.4802 | 17 | 0.567 | 0.21 | 100.01 | 0.9663 |
| 18 | 1.200 | 0.23 | 116.99 | 1.0376 | 18 | 0.800 | 0.23 | 55.33 | 0.4907 | 18 | 0.600 | 0.23 | 108.46 | 0.9619 |

Tablo-4 d Serisi Savaklar için Hesaplanan ve Ölçülen Değerler

| d serisi ; d1 , P=15 cm | | | | | d serisi ; d2 , P=22,5 cm | | | | | d serisi ; d3 , P=30 cm | | | | |
|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|
| h (cm) | h/P | h/L ₃ | Q ₃ (l/s) | Cd ₃ | h (cm) | h/P | h/L ₃ | Q ₃ (l/s) | Cd ₃ | h (cm) | h/P | h/L ₃ | Q ₃ (l/s) | Cd ₃ |
| 2 | 0.133 | 0.03 | 8.46 | 2.0246 | 2 | 0.089 | 0.03 | 8.42 | 2.0169 | 2 | 0.067 | 0.03 | 8.67 | 2.0758 |
| 3 | 0.200 | 0.04 | 13.16 | 1.7148 | 3 | 0.133 | 0.04 | 13.47 | 1.7561 | 3 | 0.100 | 0.04 | 13.60 | 1.7722 |
| 4 | 0.267 | 0.05 | 18.11 | 1.5331 | 4 | 0.178 | 0.05 | 18.94 | 1.6031 | 4 | 0.133 | 0.05 | 18.96 | 1.6053 |
| 5 | 0.333 | 0.06 | 23.31 | 1.4123 | 5 | 0.222 | 0.06 | 24.81 | 1.5029 | 5 | 0.167 | 0.06 | 24.76 | 1.5002 |
| 6 | 0.400 | 0.08 | 28.77 | 1.3259 | 6 | 0.267 | 0.08 | 31.10 | 1.4330 | 6 | 0.200 | 0.08 | 31.01 | 1.4288 |
| 7 | 0.467 | 0.09 | 34.48 | 1.2609 | 7 | 0.311 | 0.09 | 37.79 | 1.3821 | 7 | 0.233 | 0.09 | 37.68 | 1.3781 |
| 8 | 0.533 | 0.10 | 40.44 | 1.2105 | 8 | 0.356 | 0.10 | 44.90 | 1.3440 | 8 | 0.267 | 0.10 | 44.80 | 1.3410 |
| 9 | 0.600 | 0.11 | 46.65 | 1.1703 | 9 | 0.400 | 0.11 | 52.43 | 1.3151 | 9 | 0.300 | 0.11 | 52.36 | 1.3133 |
| 10 | 0.667 | 0.13 | 53.12 | 1.1377 | 10 | 0.444 | 0.13 | 60.36 | 1.2927 | 10 | 0.333 | 0.13 | 60.35 | 1.2925 |
| 11 | 0.733 | 0.14 | 59.84 | 1.1108 | 11 | 0.489 | 0.14 | 68.71 | 1.2755 | 11 | 0.367 | 0.14 | 68.78 | 1.2769 |
| 12 | 0.800 | 0.15 | 66.81 | 1.0885 | 12 | 0.533 | 0.15 | 77.46 | 1.2621 | 12 | 0.400 | 0.15 | 77.65 | 1.2651 |
| 13 | 0.867 | 0.16 | 74.03 | 1.0696 | 13 | 0.578 | 0.16 | 86.63 | 1.2518 | 13 | 0.433 | 0.16 | 86.96 | 1.2565 |
| 14 | 0.933 | 0.18 | 81.50 | 1.0537 | 14 | 0.622 | 0.18 | 96.22 | 1.2440 | 14 | 0.467 | 0.18 | 96.70 | 1.2503 |
| 15 | 1.000 | 0.19 | 89.22 | 1.0402 | 15 | 0.667 | 0.19 | 106.21 | 1.2382 | 15 | 0.500 | 0.19 | 106.88 | 1.2461 |
| 16 | 1.067 | 0.20 | 97.20 | 1.0286 | 16 | 0.711 | 0.20 | 116.62 | 1.2341 | 16 | 0.533 | 0.20 | 117.51 | 1.2435 |
| 17 | 1.133 | 0.21 | 105.43 | 1.0187 | 17 | 0.756 | 0.21 | 127.43 | 1.2313 | 17 | 0.567 | 0.21 | 128.56 | 1.2423 |
| 18 | 1.200 | 0.23 | 113.91 | 1.0102 | 18 | 0.800 | 0.23 | 138.66 | 1.2298 | 18 | 0.600 | 0.23 | 140.06 | 1.2422 |

Tablo-5 e Serisi Savaklar için Hesaplanan ve Ölçülen Değerler

| e serisi ; e1 , P=15 cm | | | | | e serisi ; e2 , P=22,5 cm | | | | | e serisi ; e3 , P=30 cm | | | | |
|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------|------------------|----------------------|-----------------|
| h (cm) | h/P | h/L ₄ | Q ₄ (l/s) | Cd ₄ | h (cm) | h/P | h/L ₄ | Q ₄ (l/s) | Cd ₄ | h (cm) | h/P | h/L ₄ | Q ₄ (l/s) | Cd ₄ |
| 2 | 0.133 | 0.03 | 7.95 | 1.9025 | 2 | 0.089 | 0.03 | 8.17 | 1.9573 | 2 | 0.067 | 0.03 | 8.05 | 1.9281 |
| 3 | 0.200 | 0.04 | 11.18 | 1.4566 | 3 | 0.133 | 0.04 | 11.38 | 1.4832 | 3 | 0.100 | 0.04 | 11.23 | 1.4634 |
| 4 | 0.267 | 0.05 | 14.75 | 1.2483 | 4 | 0.178 | 0.05 | 14.89 | 1.2606 | 4 | 0.133 | 0.05 | 14.69 | 1.2435 |
| 5 | 0.333 | 0.06 | 18.66 | 1.1301 | 5 | 0.222 | 0.06 | 18.71 | 1.1332 | 5 | 0.167 | 0.06 | 18.44 | 1.1168 |
| 6 | 0.400 | 0.08 | 22.91 | 1.0555 | 6 | 0.267 | 0.08 | 22.83 | 1.0521 | 6 | 0.200 | 0.08 | 22.47 | 1.0354 |
| 7 | 0.467 | 0.09 | 27.50 | 1.0055 | 7 | 0.311 | 0.09 | 27.26 | 0.9969 | 7 | 0.233 | 0.09 | 26.79 | 0.9796 |
| 8 | 0.533 | 0.10 | 32.43 | 0.9705 | 8 | 0.356 | 0.10 | 31.99 | 0.9576 | 8 | 0.267 | 0.10 | 31.39 | 0.9396 |
| 9 | 0.600 | 0.11 | 37.70 | 0.9456 | 9 | 0.400 | 0.11 | 37.04 | 0.9290 | 9 | 0.300 | 0.11 | 36.28 | 0.9101 |
| 10 | 0.667 | 0.13 | 43.31 | 0.9275 | 10 | 0.444 | 0.13 | 42.38 | 0.9077 | 10 | 0.333 | 0.13 | 41.46 | 0.8880 |
| 11 | 0.733 | 0.14 | 49.26 | 0.9144 | 11 | 0.489 | 0.14 | 48.04 | 0.8917 | 11 | 0.367 | 0.14 | 46.92 | 0.8711 |
| 12 | 0.800 | 0.15 | 55.55 | 0.9050 | 12 | 0.533 | 0.15 | 53.99 | 0.8797 | 12 | 0.400 | 0.15 | 52.67 | 0.8582 |
| 13 | 0.867 | 0.16 | 62.18 | 0.8984 | 13 | 0.578 | 0.16 | 60.26 | 0.8707 | 13 | 0.433 | 0.16 | 58.71 | 0.8483 |
| 14 | 0.933 | 0.18 | 69.15 | 0.8940 | 14 | 0.622 | 0.18 | 66.83 | 0.8641 | 14 | 0.467 | 0.18 | 65.03 | 0.8408 |
| 15 | 1.000 | 0.19 | 76.46 | 0.8913 | 15 | 0.667 | 0.19 | 73.71 | 0.8593 | 15 | 0.500 | 0.19 | 71.64 | 0.8351 |
| 16 | 1.067 | 0.20 | 84.11 | 0.8900 | 16 | 0.711 | 0.20 | 80.89 | 0.8560 | 16 | 0.533 | 0.20 | 78.53 | 0.8310 |
| 17 | 1.133 | 0.21 | 92.10 | 0.8899 | 17 | 0.756 | 0.21 | 88.38 | 0.8540 | 17 | 0.567 | 0.21 | 85.71 | 0.8282 |
| 18 | 1.200 | 0.23 | 100.43 | 0.8906 | 18 | 0.800 | 0.23 | 96.17 | 0.8529 | 18 | 0.600 | 0.23 | 93.17 | 0.8263 |

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ezgi ÖZTÜRK İSPİR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kozan/06.09.1986
Telefon : 0553 374 49 33
Faks :
e-mail : Ezgi.ozturk @windowslive.com

EĞİTİM

| Derece | Adı, İlçe, İl | Bitirme Yılı |
|---------------|--|--------------|
| Lise | : Ereğli Y.Dil Ağırlıklı Lisesi Ereğli KONYA | 2004 |
| Üniversite | : Selçuk Üniv.Müh.Mim.Fak.İnşaat Müh. Selçuklu KONYA | 2011 |
| Yüksek Lisans | : N.E.U Fen Bilimleri Enst.İnşaat Mühendisliği | Halen |
| Doktora | : | |

İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|-----------|------------------------|--------------|
| 2011-2014 | Mehtaş İnşaat Ltd.Şti. | Şantiye Şefi |

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR