T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ TABANLI AKARSULARDA YAN SAVAK CİVARINDAKİ OYULMA DERİNLİKLERİNİN GENETİK İFADELİ PROGRAMLAMA İLE BELİRLENMESİ

Hayrettin KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Mayıs-2019

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Hayrettin KAYA tarafından yapılan "Hareketli Tabanlı Akarsularda Yan Savak Civarındaki Oyulma Derinliklerinin Genetik İfadeli Programlama İle Belirlenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Fevzi ÖNEN

Üye : Prof. Dr. Tamer BAĞATUR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Veysel Süleyman YAVUZ

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 31/05/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../.....

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her basamağında sabırlı desteğini, görüş ve önerilerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Fevzi ÖNEN'e, çalışmamın her aşamasında beni destekleyen eşim ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) tarafından **MÜHENDİSLİK.18.010** nolu proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR……..…… I

İÇİNDEKİLER……..……... II

ÖZET……..……... IV

ABSTRACT……...……..... V

ÇİZELGE LİSTESİ……..……. VI

ŞEKİL LİSTESİ……..……... VII

KISALTMA VE SİMGELER……...……..... IX

1. GİRİŞ……...……...……... 1

1.1. Konunun Tanıtılması ve Önemi…….. 1

1.2. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol…….....……..... 3

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... 5

3. MATERYAL VE METOT..... 11

3.1. Yan Savak Akımının Hidroliği……..... 11

3.1.1. Yan Savakların Kullanım Alanları....……..…..... 11

3.1.1.1. Akarsu Kontrol Yapısı Olarak Kullanılan Yan Savaklar..... 11

3.1.1.2. Açık Kanal Sulama Şebekelerinde Yan Savakların Kullanımı.....…...…..... 12

3.1.1.3. Yağmur Suyu Deşarj ve Kanalizasyon Tesislerinde Yan Savak Kullanımı.... 13

3.1.1.4. Baraj Göllerinde Yan Savak Kullanımı..……....…….....……. 14

3.1.1.5. Su Yollarında Yan Savak Kullanımı..…….....……..... 15

3.1.2. Yan Savak Boyunca Ana Kanalda Su Yüzü Değişimi..... 16

3.1.3. Yan Savak Debi Katsayısı Ve Değişimi..... 21

3.1.4. Yan Savak Kesitinde Sekonder Akım ve Hız Dağılımı..... 24

3.2. Hareketli Taban Oyulması..... 27

3.3. Deney Kanalı ve Deneysel Çalışma….....…….....…….... 31

3.3.1. Deney Kanalı…….....……..…… 31

3.3.2. Deneysel Çalışma…….....…….. 33

3.4. Genetik İfadeli Programlama……...…….……. 34

4. BULGULAR VE TARTIŞMA……..……..... 39
4.1. Giriş…….....…….....……..... 39
4.2. Genetik İfadeli Programlama Modelinin Oluşturulması……...…... 39
4.3. GEP Yöntemi İle Oluşturulan Modeller..... 42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER……...……... 61
6. KAYNAKLAR…….....……. 63
ÖZGEÇMİŞ…..…… 67

ÖZET

HAREKETLİ TABANLI AKARSULARDA
YAN SAVAK CİVARINDAKİ OYULMA DERİNLİKLERİNİN
GENETİK İFADELİ PROGRAMLAMA İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hayrettin KAYA

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2019

Yan savaklar su yüksekliğinin kontrol altında tutulması, sistemdeki atık suyun deşarj edilmesi ve debi ölçümü gibi amaçlar için kullanılan ve de genel olarak akarsular üzerine inşa edilen hidrolik yapılardır. Hareketli tabanlı akarsularda en sık karşılaşılan hidrolik problemlerin başında oyulma problemi gelmektedir. Yerel oyulmalar köprü ayaklarında, yan savaklarda veya su bentlerinde hasara ve yıkılmaya sebep olabilmektedir. Laboratuvar koşullarında ya da model ortamında yapılan araştırmalarda elde edilen veriler yerel oyulmanın hidrolik etmenlerinin anlaşılmasında kullanılabilmektedir. Hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma olayını araştıran çalışmalar literatürde mevcut olup; bu çalışmalardaki yöntemler genellikle fiziki model üzerindeki deneysel çalışmalar olarak ele alınmaktadır. Literatürde matematiksel model üzerinden oyulma derinliğinin incelendiği çalışma sayısı ise sınırlıdır.

Bu çalışmada hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinlikleri Genetik İfadeli Programlama kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Modelimizde hareketli tabanlı doğrusal kanalda elde edilen temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması deneysel verileri kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında modeller oluşturulurken bağımsız boyutsuz değişkenler; rölatif akım hızı (V/V_{kr}), boyutsuz yan savak uzunluğu (L/b), rölatif yan savak kret yüksekliği ($(h_1-p)/h_1$) ve taban malzemesi dane çapı (d_{50}/p) kullanılarak çıkış verisi rölatif denge oyulma derinliği(H_d/p) elde edilmiştir. Oluşturulan 8 GEP modelinden Model-1, Model-2 ve Model-3'e ait formülasyonlar ve ifade ağaçları çalışmada sunulmuş, diğer modellerin de sonuçları verilmiştir. Çalışma sonucunda matematiksel modellemede hesaplanan değerler ile fiziki modelde ölçülen değerler karşılaştırılarak, modelin iyi bir performans gösterdiği belirlenmiş ve hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinliklerinin Genetik İfadeli Programlama kullanılarak belirlenebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hareketli Taban, Oyulma, Yan Savak, GEP

ABSTRACT

DETERMINATION OF SCOUR DEPTH OF SIDE WEIR IN LIVE BED RIVER WITH GENETIC EXPRESSION PROGRAMMING

M.SC. THESIS

Hayrettin KAYA

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2019

Side weirs are hydraulic structures used for purposes such as controlling water height, discharging of waste water in the system and flow measurement and generally built on rivers. The most common hydraulic problems in live-bed streams are the problem of scouring. Local scour may cause damage and destruction of the bridge piers, side weirs or water dams. The data obtained in laboratory conditions or in the model environment can be used to understand the hydraulic factors of the local scour. Studies investigating the scour around side weir on the live-bed river is available in the literature. However, the methods in these studies are generally considered as experimental studies on the physical model. In the literature, the number of studies researching the scour depth on the mathematical model is limited.

In this study, the scour depths around the side weir in the live-bed river were modeled mathematically using Gene Expression Programming. In our model, clear water scour and live-bed scour experimental data obtained in the live-bed linear channel were used.

In this thesis, unattached non-dimensioned variables are formed while creating models; relative flow velocity (V/V_{cr}), dimensionless side weir length (L/b), relative side weir crest height ($(h_1-p)/h_1$) and bed material grain diameter (d_{50}/p) using output data relative equilibrium scour depth (H_d/p). Formulations and expression trees of Model-1, Model-2 and Model-3 from 8 GEP models were presented in the study and the results of other models were given. As a result of the study, the values calculated in the mathematical modeling and the values measured in the physical model were determined to show a good performance and the scour depths around the side weir could be determined by using Gene Expression Programming in the live-bed rivers.

Keywords: Live-bed, Scour, Side Weir, GEP

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Yan savak debi katsayıları	22
Çizelge 3.2.	Nehir rejimli akış halinde bulanan doğrusal kanallardaki debi katsayısının Froude sayısı ile ilişkisi	24
Çizelge 4.1.	Modellemede Kullanılan Değişkenler	41
Çizelge 4.2.	Yan savak akımına etki eden parametreler	42
Çizelge 4.3.	Çalışmada kullanılan yan savak boyutları ve bağımsız değişkenlere ait deney aralıkları	44
Çizelge 4.4.	GEP yöntemi ile oluşturulan modellere ait R^2 ve RMSE değerleri	59

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Yan savak akımının planı ve kesiti	2
Şekil 1.2.	Oyulma derinliğinin zamanla değişimi	3
Şekil 3.1.	İngiltere'de West Midlands bölgesinde bulunan Tame Nehri üzerinde inşa edilmiş Sandwell Savağ	12
Şekil 3.2.	Kazakistan Maktaral Bölgesi'nde inşa edilmiş yan savak	13
Şekil 3.3.	İngiltere'de bulunan Stockley Arıtma Tesisi'ne ulaşan yan savak	14
Şekil 3.4.	Walshaw Dean rezervuarında bulunan yan savak deşarj kanalı	15
Şekil 3.5.	İngiltere Leicester Bölgesinde su yolu üzerinde bulunan bir yan savak	16
Şekil 3.6.	Sabit özgül enerjide kanal akımındaki derinlik ve debi arasındaki ilişki	17
Şekil 3.7.	Özgül enerji diyagramında debi derinlik ilişkisi	18
Şekil 3.8.	Büyük eğimli kanal ($J_0>J_{kr}$) ve sel rejiminde oluşan su yüzü profili	19
Şekil 3.9.	Nehir rejiminde($J_0<J_{kr}$,$p>h_{kr}$) oluşan su yüzü profili	20
Şekil 3.10.	Düşük eğimli kanal($J_0<J_{kr}$) ve sel rejiminde oluşan su yüzü profili	20
Şekil 3.11.	Yanal akım sebebiyle kanal en kesitindeki akımın hareketi	25
Şekil 3.12.	Yanal akım sebebiyle kanal en kesitindeki oluşan sekonder akım	26
Şekil 3.13.	Yan savak boyunca durgunluk bölgesi ve ters akım	27
Şekil 3.14.	Oyulma derinliğinin akım hızı ile değişimi	29
Şekil 3.15.	Yan savakta V_1=0.38 m/s için taban topoğrafyasındaki değişimler	30
Şekil 3.16.	Rölatif oyulma derinliğinin d_{50}/p etkisinde V/V_{kr}'e bağlı değişimi	31
Şekil 3.17.	Deney kanalının planı ve boyuna kesiti (Önen, 2005)	32
Şekil 3.18.	Genetik ifadeli algoritmanın akış şeması	36
Şekil 3.19.	Örnek ifade ağacı	37
Şekil 4.1.	GEP Formülü İçin Model-1 İfade Ağacı (ET)	46
Şekil 4.2a.	Model-1'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması	47

Şekil 4.2b. Model-1'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 47

Şekil 4.3a. Model-1'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 48

Şekil 4.3b. Model-1'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 48

Şekil 4.4. GEP Formülü İçin Model-2 İfade Ağacı (ET) 51

Şekil 4.5a. Model-2'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 52

Şekil 4.5b. Model-2'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 52

Şekil 4.6a. Model-2'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 53

Şekil 4.6b. Model-2'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 53

Şekil 4.7. GEP Formülü İçin Model-3 İfade Ağacı (ET) 56

Şekil 4.8a. Model-3'ün eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 57

Şekil 4.8b. Model-3'ün eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 57

Şekil 4.9a. Model-3'ün test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 58

Şekil 4.9b. Model-3'ün test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması 58

KISALTMA VE SİMGELER

h	:	Herhangi bir kesitteki su derinliği (m)
h_1	:	Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h_2	:	Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
Q_w	:	Yan savaktan savaklanan debi (m^3/s)
Q_1	:	Ana kanaldaki debi (m^3/s)
Q_2	:	Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/s)
V_s	:	Yan savaktan savaklanan akım hızı (m/s)
V_{kr}	:	Oyulma başlangıcı için gereken hız (m/s)
V_1	:	Yan savak membasında ortalama akım hızı (m/s)
V_2	:	Yan savak mansabında ortalama akım hızı (m/s)
b	:	Ana kanal genişliği (m)
L	:	Yan savak uzunluğu (m)
Ψ	:	Savaklanma (sapma) açısı
p	:	Yan savak kret yüksekliği (m)
H_d	:	Denge oyulma derinliği (m)
H_d/p	:	Rölatif denge oyulma derinliği (m)
d_{50}/p	:	Taban malzemesi dane çapı (mm)
$(h_1-p)/h_1$	:	Rölatif yan savak kret yüksekliği (m)
L/b	:	Boyutsuz yan savak uzunluğu
C	:	Chezy katsayısı
Fr	:	Froude sayısı
τ	:	Kayma gerilmesi (N/m^2)
θ	:	Kıvrım merkez açısı

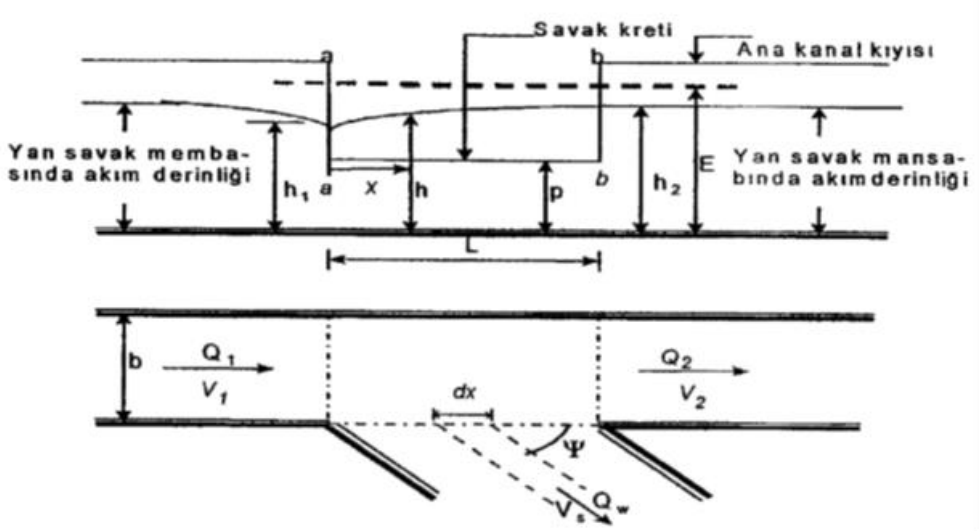
ET	:	İfade ağacı
GA	:	Genetik Algoritma
GEP	:	Genetik İfadeli Programlama
MLR	:	Çoklu doğal regresyon
MNRL	:	Çoklu doğrusal olmayan regresyon
R^2	:	Belirleme determinasyon katsayısı
RMSE	:	Ortalama karesel hata kökü
J_{kr}	:	Kritik taban eğimi
J_0	:	Ana kanal taban eğimi
C_d	:	Yan savak debi katsayısı
W_L	:	Likit limit

1.GİRİŞ

1.1.Konunun Tanıtılması ve Önemi

Yan savaklar, bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin alınması için kullanılan yapılardır. Sulama, hidroelektrik ve diğer hidrolik yapıların su temini amaçlı tesislerinin iletim kanalları, ihtiyaç ve ekonomi göz önüne alınarak optimum kapasiteye göre projelendirilir. Kanala giren fazla suyun taşarak çevreye zarar vermemesi için gerekli yerlere yan savaklar inşa edilmektedir. Yan savaklar kanalın sadece bir tarafına ya da her iki tarafına, çökeltim havuzları gibi yapıların yan tarafına yapıldıkları için yan savak olarak adlandırılır (Önen 2005).

Mühendislik uygulamalarında yan savaklar sıkça başvurulan çözüm yollarından bir tanesidir. Yan savaklar genellikle sulama sistemlerinde, kanalizasyon şebekelerinde ve taşkın koruma yapılarında, barajlar ve hidroelektrik santrallerinde kullanılan yapılardır. Yan savaklar kullanılarak, sistemdeki atık suyun uzaklaştırılması ve su kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi mümkün olmaktadır. Sulama veya başka bir amaçla kullanılan açık iletim kanalları, vadi yamaçlarında sık sık dere yatakları ile kesişmektedir. Dere yatağından gelecek yağmur suyu akışı ya da taşkın debisi iletim kanalı içinde bulunan suyun kirlenmesine, kanalın yapısal bütünlüğüne zarar verebilmektedir. Bu tip durumların önüne geçebilmek için alt sel geçidi ve üst sel geçitleri inşa edilmektedir. Bunlara gerek kalmadan kanal boyunca yan savak olarak inşa edilen sekonder kanallar hem yağmur suyunun geçişinde hem de kanalda ani debi artışı sonucu tahliye edilmesi gereken atık suyun tahliyesinde kullanılmaktadır. Aynı şekilde kentsel altyapı sistemlerinde bulunan birleşik sistem yağmur suyu ve evsel atık su tesislerinde de sıkça kullanılmaktadır. Birleşik sistemlerde ana toplayıcı kanalda bulunan ve temiz olduğu kabul edilen fazla yağmur suları, yan savaklar yardımıyla mansaba doğrudan verilmektedir. Böylece sistemdeki fazla akış yan kanallara aktarılarak arıtma tesisinin hidrolik yükü azaltılmış olur.



Şekil 1.1. Yan savak akımının planı ve kesiti (Ağaççıoğlu 1998)

Şekil 1.1'de Yan savak akımının planı ve kesiti verilmiştir. h_1, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), h_2 yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), h herhangi bir kesitteki su derinliğini (m), Q_1 ana kanaldaki debiyi (m^3/s), Q_2 yan savaktan sonraki ana kanal debisini (m^3/s), Q_w yan savaktan savaklanan debiyi (m^3/s), V_1 yan savak membasında ortalama akım hızını (m/s), V_2 yan savak mansabında ortalama akım hızını (m/s), V_s yan savaktan savaklanan akım hızını (m/s), b ana kanal genişliğini (m), L yan savak uzunluğunu (m), Ψ savaklanma (sapma) açısını, p yan savak kret yüksekliğini (m), x yan savağın herhangi bir noktasının yan savak başlangıcına olan mesafesini göstermektedir.

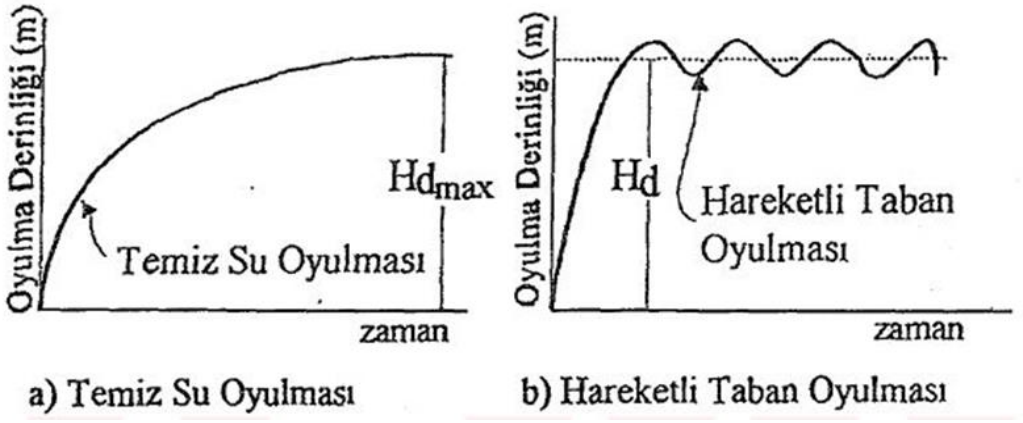
Hareketli tabanlı kanallarda bulunan yan savakların kanal taban profiline ve ana kanaldaki akım özelliklerine önemli etkisi mevcuttur. Gerek yanal akım ve gerekse kanalda bulunan engel ve eğrilikler tarafından yaratılan sekonder akım, ana kanaldaki taban profilinde ve hidrolik karakteristiklerinde çok önemli değişikliklere sebep olmaktadır.

Akım şiddeti yükseldiği zaman membadaki kayma gerilmesi taban malzemesinin karşı koyacağı kritik kayma gerilme değerini aştığında membadan itibaren akım yönünde katı madde hareketi başlar. Bu hareket türbülans etkisiyle oluşan oyulma çukurundaki akımla birleşerek hareketli taban oyulmasını oluşturmaktadır. Oyulma derinliği;

başlangıçta yüksek olmasına rağmen zamanla azalarak derinlik-zaman grafiğinde parabolik bir eğri oluşturur.

Hareketli taban oyulması durumunda membada akım yönünün tersine etki eden kuvvetler oluşur. Bu kuvvetler bir direnç oluşturur, oluşan bu direnç taban şekilleri nedeniyle zamanla değişim gösterdiğinden, oyulma sonucunda oluşan çukurda katı madde taşınımının miktarı membada oluşan ilave kayma gerilmesine bağlıdır. Hareketli taban durumunda, oyulma derinliği başlangıçta en yüksek seviyededir. Daha sonra membada değişen taban direnç seviyesine göre katı madde hareketinde artma ve azalma olacağından oluşan çukur ardı sıra gelen oyulma ve birikme durumlarına maruz kalacaktır. Bu sebeplerle hareketli taban oyulmasında en yüksek derinliğe ulaşıldıktan sonra oyulma derinliği-zaman grafiğinde azalış ve artış periyotlarına rastlanılacaktır. Oyulma derinliği zamanla artan bir grafik göstererek dengeye ulaşır (Yanmaz 2002).

Oyulma derinliğinin değişimi zamanla karakterize edilebilir. Hareketli taban oyulmasının karakteristiklerinden birisi de oyulma derinliğinin denge derinliği etrafında salınımlar yapmasıdır.



Şekil 1.2. Oyulma derinliğinin zamanla değişimi (Tsujimoto ve Mızukami 1985)

1.2.Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Literatürde hareketli tabanlı akarsularda yan savaklarda meydana gelen oyulma derinliği ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmamaktadır. Ülkemiz gibi akarsu sayısının bir hayli fazla olduğu bir coğrafyada hareketli taban üzerinde bulunan yan savakta meydana gelecek oyulma ile ilgili araştırmalar önem arz etmektedir.

Yan savaklarda meydana gelen oyulma problemi ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde; çalışmaların kohezyonsuz malzemeli tabanlı akarsularda ve kararlı tabanlı akarsu veya kanallarda yapıldığı görülmektedir. Bunlarla beraber literatür incelendiğinde hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarında meydana gelen oyulma problemi ile ilgili çalışma sayısının azlığı görülmektedir. Bu çalışmada hareketli tabanlı kanallarda yan savak civarında oluşan oyulma derinlikleri Genetik İfadeli Programlama model ile incelenecektir. Ayrıca fiziki modelde ölçülen oyulma derinlikleri ile model sonuçları karşılaştırılıp oluşturulan matematiksel modellerin doğruluğu ortaya konulacaktır.

Bu çalışmanın giriş kısmından sonra yer alan ikinci kısmında bu konu ile ilgili yapılmış daha önceki çalışmalarının derlendiği literatür özeti, üçüncü kısmında yan savak ve hareketli taban oyulmasının incelenmesi bulunmaktadır. Çalışmanın dördüncü kısmında çalışmada kullanılan materyal ve matematiksel modelleme yöntemi olarak kullanılacak Genetik İfadeli Programlama incelenecektir. Beşinci bölümde Genetik İfadeli Programlama yöntemi ile oluşturulan modeller ile ilgili GEP formülleri, ifade ağaçları, matematik modelle elde edilen sonuçların ve fiziki modelde ölçülen değerlerle grafiksel karşılaştırması bulunmaktadır. Çalışmanın altıncı ve son bölümünde sonuç ve öneriler kısmı yer almaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yan savaklarla ilgili yapılan birçok çalışmada hem nehir rejiminde hem de sel rejiminde oluşan su yüzü profillerinin değişimi, yan savak şekline göre ve farklı akım koşullarında yan savak debi katsayısının değişimi araştırılmıştır. Bunlarla beraber yan savak civarında oluşan akım profili ve yan savak akımından dolayı kanal tabanında meydana gelen değişimler de diğer araştırılmış konulardır. Hareketli tabanda yan savak civarında meydana gelen oyulma ve yığılma ile ilgili araştırmalar da mevcut olup sayıları bir hayli kısıtlıdır.

Önen (2005), çalışmasında hareketli tabanlı kanal boyunca dikdörtgen kesitli ve keskin kenarlı yan savaklar için nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda fiziki model üzerinde seri deneyler gerçekleştirmiştir. Çalışma boyunca 900'e yakın deney yapılmıştır. Boyut analizi sonucunda rölatif denge oyulma derinliği H_d/p'nin; V_1/V_{kr}, h_1/p, L/b ve θ boyutsuzlarına bağımlı olduğu belirlenmiştir. Burada H_d: Denge oyulma derinliği, V_1: Yan savak girişinde akış hızı, V_{kr}: Oyulma başlangıcı için gereken hız, h_1: Yan savağın memba kısmındaki su seviyesi yüksekliği, p: Yan savak kret yüksekliği, L: Yan savak uzunluğu ve θ: Kıvrım merkez açısıdır. Temiz su oyulması hali ($0.5 < V_1/V_{kr} < 1$) ve hareketli taban oyulması hali ($0.95\text{-}1.0 < V_1/V_{kr} < 2.5$) için rölatif denge oyulma derinliği incelenmiştir.

Doğrusal kanalda ve 180°'lik kıvrımlı kanalda yapılan temiz su oyulma deneyleri sonucunda, rölatif denge oyulma derinliğinin zamana bağlı olarak lineer arttığı ve belli bir süre sonra asimptota yaklaşarak denge konumuna ulaştığı gözlenmiştir. Çalışmada, denge zamanının %10'unda denge oyulma derinliğinin %40-70 civarına ulaştığı ve denge zamanının %50'sinde ise denge oyulma derinliğinin %90-95'ine ulaştığı gözlenmiştir.

Önen (2005), deneysel çalışma kapsamında hem doğrusal kanalda hem de kıvrımlı kanalda deneyleri tekrarlamıştır. Doğrusal kanalda, yan savak uzunluğunun; L=25 ve 40 cm ve yan savak kret yüksekliğinin ise p=7, 12, 17 cm olduğu durumlarda, rölatif denge oyulma derinliği farklı akım şartlarında incelenmiş ve rölatif akım derinliği ve denge oyulma zamanı arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

Kıvrımlı kanalda ise ilk olarak, α=30°, L=40 cm yan savak uzunluklu ve p=7, 12, 17 cm yan savak kret yükseklilerindeki yan savaklarda, rölatif denge oyulma derinliği

farklı akım şartlarında, zamanla değişimi incelenerek denge oyulma süresi ile denge oyulma derinliği arasındaki bağıntı elde edilmiştir.

Önen (2005), çalışmasında şu sonuçları elde etmiştir; Gerek doğrusal kanalda ye gerekse kıvrımlı kanaldaki kanal taban topografyası ve oyulma çukurunun yerinin; V_1/V_{kr}, V_2/V_{kr} ve savaklanma oranına (dolayısıyla h_1/p ve L/b'ye) bağlı olduğu tespit edilmiştir. Doğrusal kanalda, temiz su oyulması halinde (V_1/V_{kr} <1 ve V_2/V_{kr} <l) yan savağın membasında ilk olarak bir oyulma çukuru oluşmuş, daha sonra hızın artmasıyla bu oyulma çukuru kapanmış ve bu kısımda bir eşik oluşmuştur. Yan savağın mansabında ise ters akım bölgesinde bir oyulma çukurunun oluştuğu gözlenmiştir. Hareketli taban oyulmasında (V_1/V_{kr} >l, V_2/V_{kr} <l ve V_2/V_{kr} >l) ise daha büyük bir eşik oluşmuş ve taban dalgalarının oyulma çukurunu bir miktar doldurmasıyla derinlik azalmıştır. Kıvrımlı kanalda temiz su oyulması halinde (V_1/V_{kr} <l ve V_2/V_{kr} <l) oyulma derinlikleri daha küçük çıkmışken, hareketli taban oyulmasında ise (V_1/V_{kr} >l, V_2/V_{kr} <l ve V_2/V_{kr} >l) helikoidal akımın etkisinin artmasıyla oyulma derinlikleri artmış ve doğrusal kanaldaki oyulma derinliklerinden daha büyük oyulma derinlikleri elde edilmiştir.

Emiroğlu ve ark. (2007), θ=90°'lik kıvrımlı kanalda ve nehir akımı şartlarında ve kohezyonsuz zeminde oyulma derinliği ile ilgili deneyler yapmışlardır. Çalışmada V_1/V_{kr} <l için temiz su oyulması durumunda kanal tabanında bulunan kohezyonsuz zeminde taban dalgalanmasının oluşmadığını gözlemlemişler. Savaklanma miktarının artmayla sekonder akımın şiddeti de artmakta ve bununla beraber oyulma derinliğinin miktarının da arttığı gözlenmiştir. Bu durumda oyulmanın yan savak çıkışında oluştuğu da gözlenmiştir.

Önen ve ark. (2007), Alüvyal tabanlı bir kanalda yan savak civarında temiz su oyulması derinliğini belirlemeye yönelik deneysel çalışmaları dikdörtgen kanalda yapmışlardır. Alüvyal tabanlı kanaldaki oyulma derinliğinin akış hızına, yan savak uzunluğuna, hidrolik su seviyesine ve katı madde dane çapına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Temiz su oyulması derinliğinin zamanla arttığı ve yaklaşma akış hızına bağlı olarak denge durumuna asimptotik olarak yaklaştığı tespit edilmiştir.

Denge oyulma derinliğinin de boyutsuz parametreler olan akış hızı, yan savak uzunluğu, hidrolik su seviyesi ve sediment dane çapının artmasıyla artış gösterdiği çalışmada ortaya konulmuştur. Çalışmada ayrıca boyutsuz yaklaşma akış hızının 0.45'ten

düşük olması durumunda oyulmanın olmadığı, bununla beraber temiz su oyulma derinliğinin boyutsuz yaklaşım akış hızının 1.0'e eşit olması durumundan sonra da boyutsuz yaklaşma akış hızının arttırılmasıyla neredeyse doğrusal olarak arttığı ve maksimum derinlik değerine ulaştığı ortaya konmuştur.

Dilek (2011), kohezyonlu malzeme tabanlı doğrusal bir kanalda, dikdörtgen kesitli bir yan savak civarındaki oyulma derinliğini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma süresince doğrusal bir kanala yerleştirilen, dikdörtgen kesitli yan savak civarındaki oyulma derinliklerinin tespiti için yaklaşık 30 deney yapılmıştır. Boyut analizi sonucunda, rölatif denge oyulma derinliği H_{de}/h_1'nin; $1/Fr^2$, L/b, C, Wc ve τ_s'e bağlı olduğu bulunmuştur.

Ayrıca yan savak civarındaki oyulma derinliği Hd'nin zamana ve Fr sayısına bağlı olarak lineer arttığı ve belli bir süre sonra asimptota yaklaşarak denge konumuna ulaştığı belirlenmiştir. Ek olarak daha düşük yan savak kret yüksekliğine sahip doğrusal kanallarda rölatif oyulma derinliğinin yaklaşık %60-70'i, boyutsuz olan t / te'nin 0.2-0.8 aralığında meydana geldiği görülürken, yan savak kret yüksekliği arttıkça rölatif oyulma derinliğinin, t / te'nin 0.3-0.55 aralığında oluştuğu tespit edilmiştir.

Önen (2013), genetik algoritmalara (GA) ve genetik programlamaya dayalı bir algoritma olan Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemini kullanarak kıvrımlı kanal boyunca yan savak civarındaki temiz su oyulmasını tahmin etmek için yeni bir formülasyon geliştirmiştir. Çalışmada, geliştirilen GEP modellerinin açık formülasyonları sunulmuş ve ayrıca çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve çoklu doğrusal olmayan regresyon (MNRL) modelleri de kullanılarak denklemlerde elde edilmiştir. GEP'in performansı, eğrisel kanal boyunca yan savak civarındaki oyulma derinliğini öngörmek için çoklu doğrusal regresyon denkleminden daha etkili bulunmuştur. Önerilen GEP formülasyonu ampiriktir ve deneysel sonuçlara dayandırılmıştır. Modelin Test performansı önerilen GEP modelinin yüksek bir doğruluk önerdiğini göstermiştir (R^2 = 0.893 ve RMSE = 0.117).

Çalışmada elde edilen GEP formülasyonları ile deneylerde ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında çoklu doğrusal regresyon denklemi (MLR), çoklu doğrusal olmayan regresyon denklemi (MNLR)'de oldukça yakın değerlere ulaşılmıştır. Çalışma sonuç

olarak Genetik İfadeli Programlamanın bu tip çalışmalarda doğru sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Varol (2015), çalışmasında yan savak oyulmasını kohezyonlu zeminlerde deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada kumlu-killi tabanlı bir dikdörtgen enkesitli kanal boyunca, nehir rejimi akım şartlarında (Fr=0.33-0.81), L=25, 40 ve 50 cm uzunluklu, taban malzemesinden itibaren p=7, 12 ve 17 cm kret yükseklikli dikdörtgen yan savak etrafında ana kanal tabanında meydana gelen oyulma ve rölatif denge oyulma derinlikleri incelenmiştir.

Çalışmaya ait deneyler ise Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü Hidrolik ve Kıyı-Liman laboratuvarında bulunan dikdörtgen en kesitli 180 derecelik kıvrımlı kanalda gerçekleştirilmiştir. Mevcut kanal 0.90 m genişliğinde ve 0.60 m yüksekliğinde alüminyum tabanlıdır. Ana kanalın genişliği 0.40 m ve toplama kanalı genişliği 0.5 m olacak şekilde birbirine paralel iki kanaldan oluşmaktadır. Çalışma nehir rejimi akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda L=25, 40 ve 50 cm uzunluklu, karışım malzemesinden itibaren p=7, 12 ve 17 cm kret yükseklikli dikdörtgen yan savak etrafında ana kanal tabanında meydana gelen oyulma süreci ve rölatif denge oyulma derinliklerini arasında bağıntıları incelemiştir.

Çalışmasında kil-kum karışımı malzeme tabanlı kanalda kohezyonsuz malzemeye benzer olarak oyulma derinliğinin zamanla arttığı ve belli bir zamandan sonra asimptot olarak devam ettiği görülmüştür. Ayrıca kohezyonlu tabanda kohezyonsuz tabana göre oyulma sürecinin daha geç başladığı görülmüştür. Önen(2005)'te kohezyonsuz malzemede denge zamanının %10'unda denge oyulma derinliğinin %40-70'ine ve denge zamanının %50'sinde denge oyulma derinliğinin %90-95'ine ulaşıldığı belirlenmiştir. Bu çalışmada ise kohezyonlu malzemede denge zamanının %10'unda denge oyulma derinliğinin %10-70'ine ve denge zamanının %50'sinde denge oyulma derinliğinin %50-95'ine ulaşıldığı belirlenmiştir.

Emiroğlu ve ark. (2016), trapez biçimli labirent bir yan savakta kullanılacak olan antivorteks yapının debi kapasitesi ve temiz su oyulması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Froude Sayısı(F_1), boyutsuz kret yüksekliği (p/y_1), boyutsuz açık savak uzunluğu(L/b), boyutsuz efektif kret uzunluğu(L/L_{ef}) ve yan duvar açısı(α)'nın değişken değerleri kullanılmıştır. Çalışma boyunca çoklu ve sıralı deneyler

yapılarak antivorteks yapının tipinin ve konumunun debi kapasitesi ve oyulma üzerindeki etkileri araştırılmış ve optimum değerler saptanmıştır. Çalışma donucunda antivorteks yapıların su alma yapısı civarındaki oyulma derinliklerini azalttığı tespit edilmiştir.

Tunç ve ark. (2017), dikdörtgen enkesitli alüvyal tabanlı bir kanalda kararlı akım şartları ve serbest savaklanma durumu için üçgen labirent yan savak civarındaki yerel oyulma derinliklerini deneysel olarak araştırılmışlardır. Çalışmada Üçgen labirent yan savak etrafında oluşan maksimum oyulma derinliklerini belirlemek için farklı koşullarda bir dizi deney gerçekleştirilmiş; deneylerde savağın membasında ve mansabında farklı boyutlarda oyulma derinlikleri gözlemlenmiş ve maksimum oyulma derinliğinin, çoğunlukla üçgen labirent yan savağın mansap ucunda oluştuğu gözlenmiştir. Yan savakta kret yüksekliği arttıkça oyulma derinliğinin arttığı ayrıca kret yüksekliği azaldıkça oyulmanın daha erken başladığı çalışmada gözlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1.Yan Savak Akımının Hidroliği

Yan savaklar su yüksekliğinin kontrol altında tutulması, sistemdeki atık suyun deşarj edilmesi ve debi ölçümü gibi amaçlar için kullanılan hidrolik yapılardır. Akım yönünde yerleştirildikleri için yan savak ismini alırlar. Yan savaklar mühendislik çözümlerinde oldukça sık başvurulan bir yöntem olup buna paralel olarak kullanım alanları çeşitlenmektedir. Yan savaklar akarsu kontrol yapısı olarak, suyolları üzerinde, sulama yapılarında, kanalizasyon ve yağmur suyu sistemlerinde ve barajlarda sıklıkla kullanılır.

3.1.1. Yan Savakların Kullanım Alanları

3.1.1.1. Akarsu Kontrol Yapısı Olarak Kullanılan Yan Savaklar

Yan savaklar nehirlerde genel olarak feyezan debilerini geçici olarak akarsu dışında depolamak için veya bir saptırma kanalına yönlendirmek için kullanılır. Ya da ana kanaldaki taşkın debisine ait hidrolik yükü azaltmak için kanal işlevi görerek suyu mansaba doğru savaklayabilir.

Akarsu kontrol yapısı olarak tasarlanan yan savaklar akışın tipine ve taşkın debisinin miktarına göre tasarlanır. Eğer yan savak tarım alanı veya konut alanlarının olduğu yere doğrudan savaklanıyorsa; yan savağın su alma kapasitesi taşkına sebebiyet vermeyecek şekilde hesaplanmalı ve bu şekilde boyutlandırılmalıdır. Bunun dışında yan savak bir deşarj kanalına ya da sekonder kanala bağlanıyorsa bu kanalların kapasitesi dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır.

Taşkın zamanı yan savak üzerinden akışa geçecek suyun her ne kadar tasarım yapısı üzerinden geçiyor olsa da kusursuz bir akışta akacağı düşünülmemelidir. Nehir su seviyesinin mevsimlere bağlı olarak değişmesi, doğal ortamda oluşacak bitki örtüsü ve akarsu tarafından taşınacak olan katı madde yan savağın debi kapasitesini etkileyecektir. Taşkın riskini bertaraf etmek için bu durumlar göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3.1. İngiltere'de West Midlands bölgesinde bulunan Tame Nehri üzerinde inşa edilmiş Sandwell Savağı (May R. W. P. ve ark. 2003)

Şekil 3.1.'de görülen Tame Nehri üzerinde inşa edilen Sandwell yan savağı taşkın debisini deşarj kanalına boşaltmak üzere tasarlanmıştır.

3.1.1.2. Açık Kanal Sulama Şebekelerinde Yan Savakların Kullanımı

Açık kanal sulama şebekeleri suyu taşıyan ana kanaldan ve bu suyu sulanacak olan tarlalara dağıtan sekonder kanallardan oluşur. Sekonder kanallara su kapaklar yardımı ile aktarılır. Sekonder kanalların sonunda kontrol yapıları inşa edilmiştir. Sulama alanları için zamanla değişen su arzı sebebiyle ana kanala veya sekonder kanallara fazla su verilebilmektedir. Bu fazla su kontrol yapısı olarak inşa edilen kapaklar vasıtasıyla kanal dışına deşarj edilebilmektedir. Bu durum da bir miktar su israfına yol açmaktadır. Ana kanal ve sekonder kanalların üzerine doğru bir şekilde inşa edilecek yan savaklar bu su kaybını minimuma indirebilir.

Yan savaklar sulama kanallarında taşkın anlarında sulama kanalı ve dere vadisi kesişim yerlerinde taşkın suyunun kanala zarar verilmeden dışarı atılmasına veya kanal içerisindeki fazla suyun sistem dışına atılmasına yardımcı olabilir.



Şekil 3.2. Kazakistan Maktaral Bölgesi'nde inşa edilmiş yan savak (May R. W. P. ve ark. 2003)

3.1.1.3. Yağmur Suyu Deşarj ve Kanalizasyon Tesislerinde Yan Savak Kullanımı

Yağışlı dönemlerde şehir içinde akışa geçen suyu uzaklaştırmak için iki yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntemde yağmur suyu kanalizasyon şebekesine iletilir. İkinci yöntemde ise yağmur suyunu deşarj etmek için ayrı bir tesis inşa edilir. Birinci yöntem birleşik kanalizasyon sistemi ikinci yöntem ise ayrık kanalizasyon sistemi olarak adlandırılır. Birleşik kanalizasyon sistemi düşük nüfuslu ve basit şebekeler projelendirilirken tercih edilir, ayrık kanalizasyon sistemi ise karmaşık ve yüksek nüfuslu bölgelerde kullanılır.

Yan savaklar birleşik kanalizasyon sistemlerinde kullanılır. Kurak havalarda yani düşük debilerde birleşik şebekede yalnızca pis su bulunmaktadır. Taşkın dönemlerinde yağmur suyu pis suya karışarak taşkın oluşturur. Bu durum içerisinde pis su bulundurduğu için halk sağlığını tehdit eder. Yan savaklar birleşik sistemde ana kanalın yükünü azaltarak taşkın riskinin önüne geçmiş olur bununla beraber taşkın

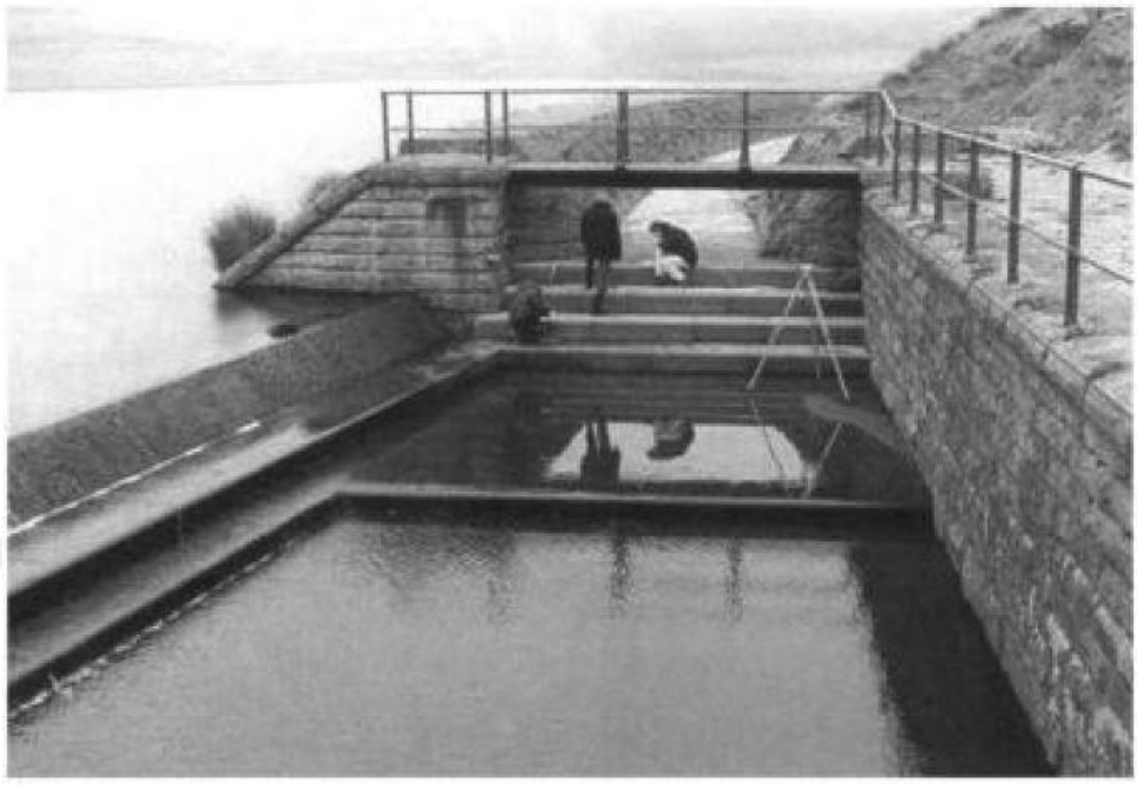
debisini arıtma tesisine kontrollü bir şekilde ulaştırarak arıtma tesisinin hasar görmesini de engellemiş olur.



Şekil 3.3. İngiltere'de bulunan Stockley Arıtma Tesisi'ne ulaşan yan savak (May R. W. P. ve ark. 2003)

3.1.1.4. Baraj Göllerinde Yan Savak Kullanımı

Barajlarda feyezan debisini baraja zarar vermeden tahliye etmek için baraj gövdesi üzerine ya da gövdeden ayrık şekilde dolusavaklar inşa edilir. Bazı barajlarda baraj gölü üzerinde taşkın anında debiyi düşürmek için yan savaklar inşa edilir. Yan savaklar baraj gölü normal su seviyesindeyken boş durumda bulunurken, feyezan durumunda dolusavak gibi davranarak taşkın debisini tahliye eder.



Sekil 3.4. Walshaw Dean rezervuarında bulunan yan savak deşarj kanalı (May R. W. P. ve ark. 2003)

Şekil 3.4.'te baraj gölünde taşkın durumunda yan savak dolusavak işlevi görmekte ve deşarj kanalından fazla su tahliyesi edilmektedir.

3.1.1.5. Su Yollarında Yan Savak Kullanımı

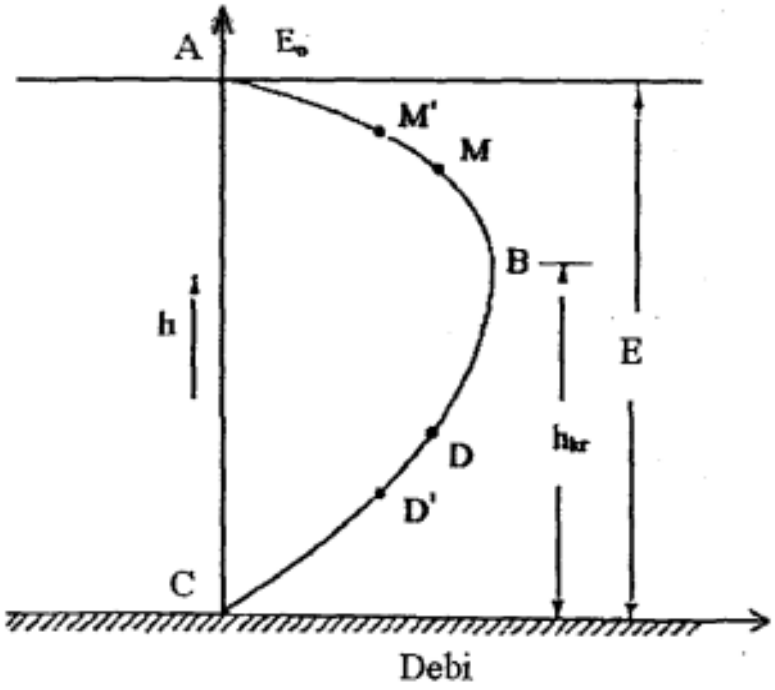
Suyolları ulaşım ve turistik amaçlarla sıklıkla kullanılır. İnsan müdahalesi bulunmayan doğal suyolları, akarsuların belli bir debiye göre ayarlanması ile oluşturulan suyolları ve akarsudan pompa veya kanal gibi yöntemlerle su çekilerek inşa edilmiş suni suyolları insanlar tarafından kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin tamamında yan savaklar kullanılabilmektedir. Mansaptan membaya doğru ulaşım sağlanan suyollarında kanal debisini yükseltmek veya havuzlar arasında su seviyesini eşitlemek, havuzlarda bulunan fazla suyu tahliye etmek için yan savaklar kullanılır.



Şekil 3.5. İngiltere Leicester Bölgesinde su yolu üzerinde bulunan bir yan savak (May R. W. P. ve ark. 2003)

3.1.2. Yan Savak Boyunca Ana Kanalda Su Yüzü Profilinin Değişimi

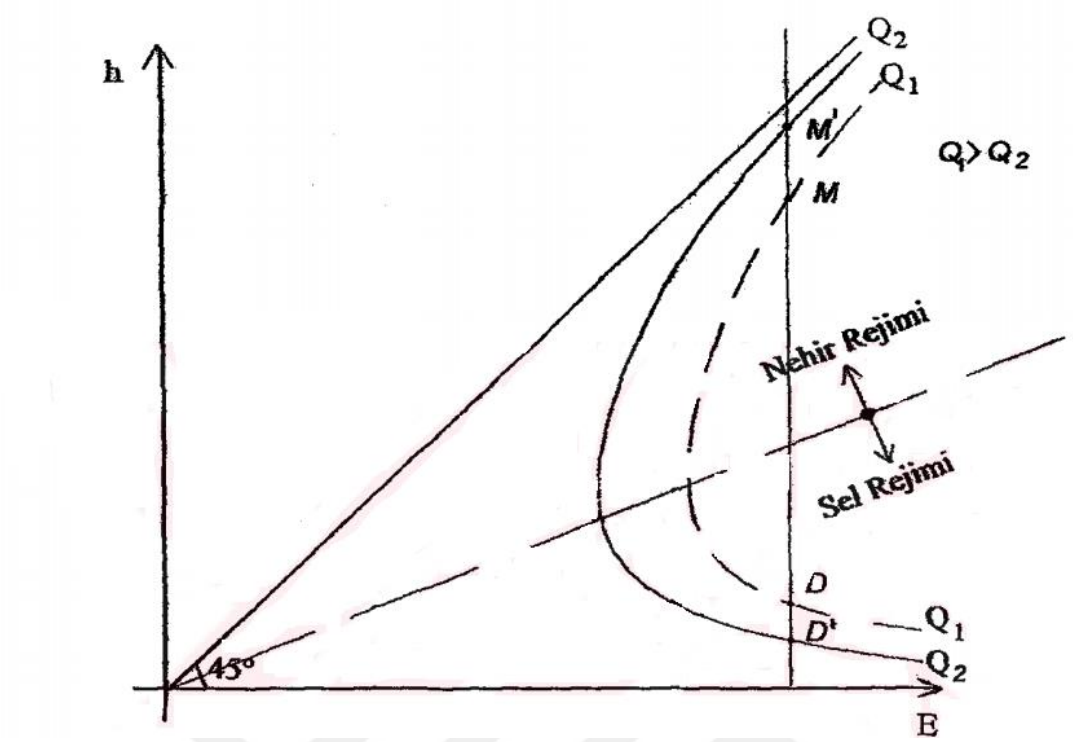
Sabit bir enerji seviyesi için herhangi bir kanaldaki akım derinliği ile debi arasındaki ilişki Koch parabolü ile verilebilir (Şekil 3.6) (Önen 2005).



Şekil 3.6. Sabit özgül enerjide kanal akımındaki derinlik ve debi arasındaki ilişki (De Marchi, 1934)

Yan savak başlangıç kesitinde sel rejimli akım ($h_ı<h_{kr}$) mevcut ise bu D noktası ile verilir. Yan savak kesiti boyunca ana kanaldaki debi savaklanmadan dolayı azalacağından yan savak sonundaki akım D' noktası ile ifade edilecektir. Eğer yan savak başlangıç kesitinde nehir rejimli akım ($h_ı>h_{kr}$) mevcut ise bu M noktası ile ifade edilebilir ve aynı şekilde savaklanmadan dolayı ana kanaldaki debi azalacağından yan savak sonundaki akım bu sefer M' noktası ile ifade edilebilir. Dolayısıyla, Şekil 3.6'dan görüleceği gibi ana kanal eksenindeki su derinliği, akımın yan savak kesitine karşı gelen bölümünde akım sel rejiminde ise azalarak, nehir rejiminde ise artarak gider.

Aynı sonuca sabit bir debi için verilen özgül enerji-derinlik diyagramı ile de varılabilir (Şekil3.7) (Önen 2005).



Şekil 3.7. Özgül enerji diyagramında debi derinlik ilişkisi (Yüksel 2000)

Yukarıda anlatılan durum haricinde özgül enerji bağıntısı kullanılarak ta yan savaktaki su yüzü profilinin değişimi bulunabilir.

$$\mathbf{E = h + \frac{Q^2}{2gA^2}} \qquad 3.1$$

3.1 denklemi herhangi bir kesitteki özgül enerji bağıntısıdır.

Özgül enerjinin yan savak boyunca sabit olduğunu kabul ediyoruz. 3.1 denkleminin türevini alıp bütün ifadeyi gA^3 ile çarpıyoruz;

$$\mathbf{gA^3 \frac{d_h}{d_x} + QA \frac{dQ}{d_x} + Q^2 \frac{dA}{d_x} = 0} \qquad 3.2$$

3.2 denkleminde x savak uzunluğu olarak ifade edilir. Kanal taban alanının dikdörtgen olması durumunda ıslak alanın yükseklikle değişimi;

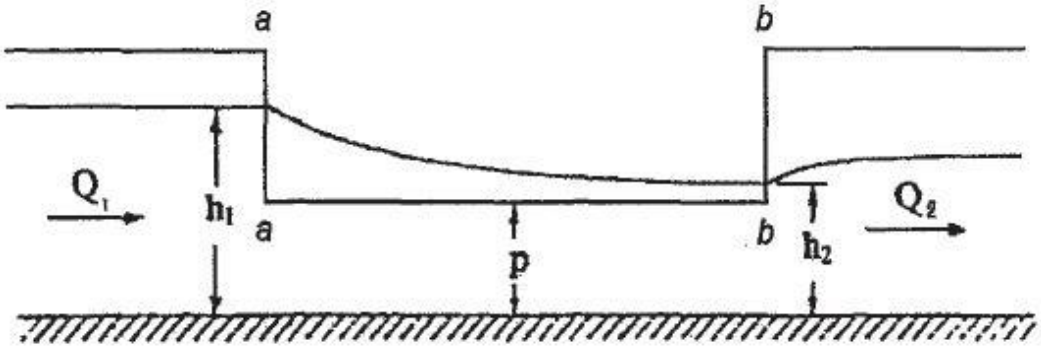
$$\frac{dA}{d_x} = b\frac{d_h}{d_x} \qquad 3.3$$

Olacağından ifade;

$$\frac{d_h}{d_x} = \frac{AQ}{bQ^2 - gA^3}\frac{dQ}{dx} \qquad 3.4$$

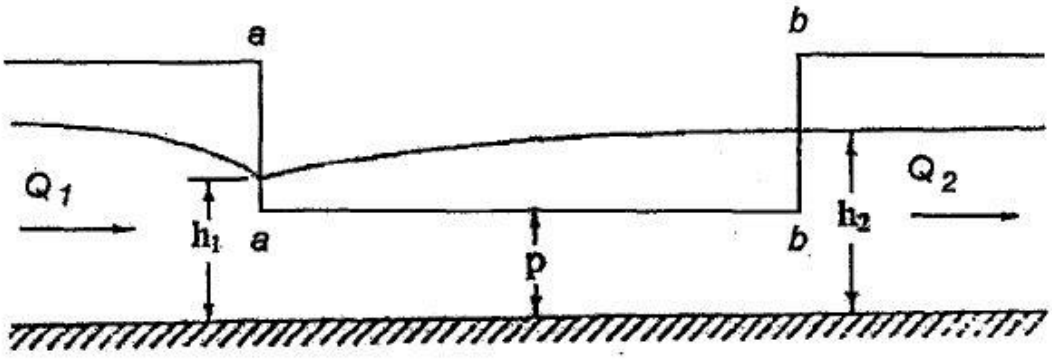
Şeklinde yazılabilir (De Marchi 1934). Bu diferansiyel denklem bize su yüzü profilini verir. 3.4 denkleminde Q, A, dQ/dx ve b ifadelerinin bilinmesi durumunda herhangi bir kesitteki su yüzü profili bulunabilir. Bu denklemde, nehir rejimi akım durumunda ($V < \sqrt{2gH}$) ise dh/dx'in pozitif değerde, sel rejimi akım durumunda ise ($V > \sqrt{2gH}$) dh/dx negatif olduğu ortaya çıkacaktır. Nehir rejimi durumunda su yüzü profilinin yükseldiği, sel rejimi durumunda ise alçaldığı görülecektir. Bu bağıntıda V ortalama akım hızını ifade etmektedir.

De Marchi (1934)'ün ortaya koyduğu 3.4 denklemi referans alındığında üç farklı su yüzü profili oluştuğu görülebilir. Bu su yüzü profilleri büyük eğimli kanalda sel rejiminde oluşan su yüzü profili (Şekil 3.8), nehir rejiminde oluşan su yüzü profili (Şekil 3.9) ve düşük eğimli kanalda sel rejiminde oluşan su yüzü profilidir (Şekil 3.10).



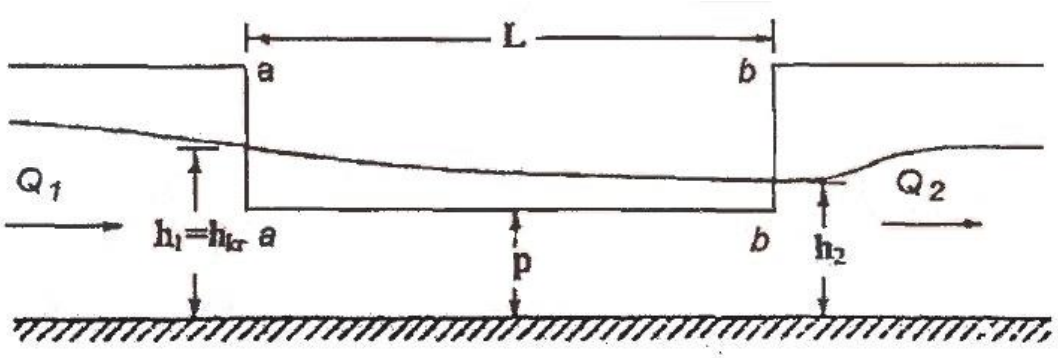
Şekil 3.8. Büyük eğimli kanal ($J_0 > J_{kr}$) ve sel rejiminde oluşan su yüzü profili (De Marci 1934)

Şekil 3.8'te görülen durumda yan savağın memba yönündeki akıma herhangi bir etkisinin olduğundan söz edilemez. Yan savaktan önceki kısımda yer alan akımın üniform sel rejiminde olması ile beraber kanal eğiminin de yüksek olması memba kontrollü bir akış sağlar, bu sebeple su seviyesi yan savak boyunca ani bir düşüş göstermeden tedrici olarak azalır.



Şekil 3.9. Nehir rejiminde($J_0<J_{kr}$, $p>h_{kr}$) oluşan su yüzü profili (De Marci 1934)

Şekil 3.9'da akımın nehir rejiminde olduğu görülür. Kanal boyunca eğimin düşük olması akışta nehir rejimi oluşmasına sebep olmuş, bu durumda yan savağın memba tarafındaki su yüzü profilini de etkilediği görülebilir. Şekilde de görüldüğü gibi akım mansap kontrollüdür. Bu durumda akım derinliğinin yan savak girişinde nispeten düştüğü görülse de yan savak boyunca yavaş yavaş artacak normal akım debisi ve derinliğine ulaşacaktır.



Şekil 3.10. Düşük eğimli kanal($J_0<J_{kr}$) ve sel rejiminde oluşan su yüzü profili (De Marci 1934)

Şekil 3.10'da akım sel rejimindedir. Yan savak eşik yüksekliğinin kritik derinlikten düşük olması sebebiyle yan savak mansap kısmında hidrolik sıçrama oluşmuştur.

Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10' da görülen Q_1; akımın yan savak membasındaki debi miktarı, Q_2; akımın yan savak mansabındaki debi miktarı, h_1; akımın yan savak membasındaki su yüksekliği, , h_2; akımın yan savak mansabındaki su yüksekliği, h_{kr}; kritik su seviyesi, aa; yan savak giriş kesiti, bb; yan savak çıkış kesiti, p; yan savak kret yüksekliği, L; yan savak uzunluğu, J_0; kanal eğimi ve J_{kr}; kanal kritik eğimini verir.

De Marchi (1934), geliştirmiş olduğu bu teoride yan savak akımı boyunca özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek aşağıdaki kabulleri yapmıştır;

- Ana kanalda kararlı akım şartlan mevcuttur.
- Yan savak üniform en kesitli uzun bir kanala yerleştirilmiştir.
- Yan savak eşiği ana kanal tabanına paraleldir.
- Yan savağın memba ve mansabından belirli bir uzaklıkta ana kanaldaki akım üniformdur.
- Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

3.1.3. Yan Savak Debi Katsayısı Ve Değişimi

Yan savakların temel amacı ana kanaldan ya da rezervuardan debiyi alıp başka bir yere tahliye etmektir. Yan savaklar bu amaç için tasarlanır ve yan savak tasarım ve hesaplamalarında en önemli parametrelerden biri yan savağın debi kapasitesidir. Yan savağın debi kapasitesini hesaplarken de kullanılacak önemli parametrelerden biri yan savak debi katsayısı; C_d'dir.

Engels (1920), yaptığı araştırmalarda oluşturduğu fiziki model üzerinden seri deneylerle yan savakta oluşan su yüzü profillerini inceleyerek, dikdörtgen kanalda kullanılan yan savakların debi kapasitesi için şu denklemi elde etmiştir.

$$\mathbf{Q_w = C_d\sqrt{2g}L^{0.83}(h_2 - p)^{1,67}} \qquad \mathbf{3.5}$$

Bu denklemde;

Q_w:Yan savak debi kapasitesi (m^3/s), L:Yan savak uzunluğu(m), h_2: Ana kanal ekseni üzerinde yan savak çıkışındaki su yüksekliği (m), p: Yan savak kret yüksekliği (m), g: Yerçekimi ivmesi (m/s^2), C_d: Yan savak debi katsayısı olarak verilmiştir.

Bu çalışmaların ardında Collinge (1957), De Marchi (1934)'nin çalışmalarını baz alarak aşağıdaki denklemi oluşturmuştur;

$$\mathbf{Q_w = C_d\sqrt{2g}(h_2 - p)^{n'}} \qquad \mathbf{3.6}$$

Collinge (1957), bu denklemi kullanarak çeşitli deneyler yapmış ve C_d ve n' katsayılarında ulaştığı sonuçları Tablo 3.1'de vermiştir.

Çizelge 3.1. Yan savak debi katsayıları (Collinge, 1957)

Kanal Genişliği(m.)	Batık Nap		Serbest Nap	
	Cd	n´	Cd	n´
0.305	-	-	0.35	1.42
0.102	1.33	1.80	0.37	1.46

Collinge (1957), Fr_1=0.95 civarında ve Fr_1=1.15 değerinden daha büyük değerlerde deneysel sonuçların De Marchi'nin (1934) teoremine çok iyi uyum sağladığını fakat Fr_1=1.00 civarında teori ile deneysel çalışmalar arasında büyük farklılıkların olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, teori ile deneysel sonuçlar arasındaki bu farklılığı enerji kayıplarına ve savak katsayısına bağlamıştır.

Hem sel rejimli hem de nehir rejimli akımlarda enerji kayıplarından dolayı deneysel sonuçlardan elde edilen su yüzü profilleri teorik ifadeden elde edilenlerden daha büyüktür. Bunun sonucu olarak, deneysel olarak bulunan yan savak debisi teoriye göre daha fazladır. Çalışmada, C_d yan savak debi katsayısının yaklaşık değeri kullanılarak teorik debi hesaplanmıştır. Kanaldaki akım hızı artarken C_d yan savak debi katsayısı azaldığından yan savaktan savaklanan debi teorik debiden daha küçüktür. Collinge (1957), De Marchi (1934) teoreminin yalnızca nehir rejimli akım şartlarında iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Yan savaklarla ilgili yapılan çalışmalarda yan savak debi kapasitesi hesaplanmasında C_d yan savak debi katsayısı sonuç doğruluğu açından ve teorik ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması açısından önemli bir parametredir. Bu sebeple debi katsayıları ile ilgili araştırmalar devam etmiştir.

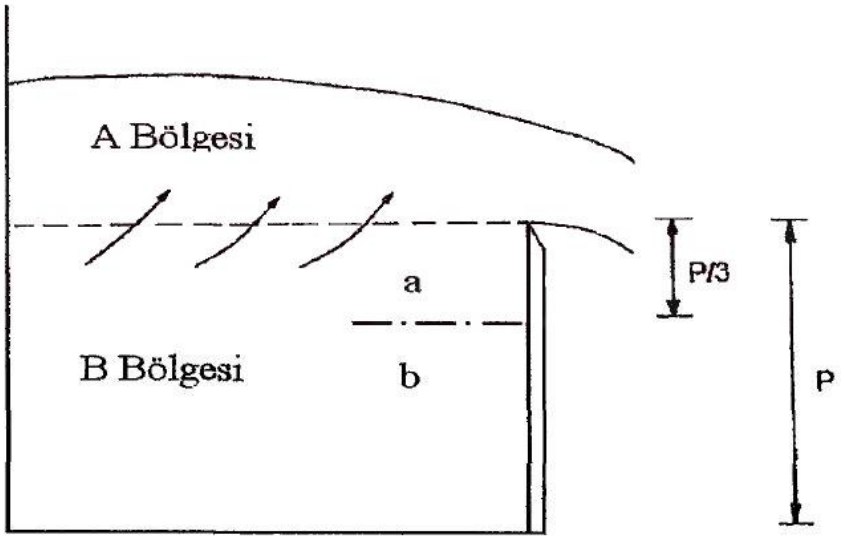
Ağaççıoğlu ve ark. (1998), Tablo 3.2'de nehir rejimli akış halinde bulanan doğrusal kanallardaki debi katsayısının Froude sayısı ile ilişkilerini toplu halde vermişlerdir.

Çizelge 3.2. Nehir rejimli akış halinde bulanan doğrusal kanallardaki debi katsayısının Froude sayısı ile ilişkisi (Ağaçcıoğlu ve ark. 1998)

Kaynak	C_d Katsayısı İle İlgili Denklemler	Froude Sayısı	L/b	p/h_1 (p, m)	Standart Sapma
Subramanya ve Awasthy(1972)	$C_d = 0.576\left\{\frac{1-F_1^2}{2+F_1^2}\right\}^{0,5}$	0.02-0.85	0.2-1.0	0.2-0.96 (0.0-0.6)	0.09
Nandesamoorthy ve Thomson(1979)	$C_d = 0.288\left\{\frac{2-F_1^2}{1+2F_1^2}\right\}^{0,5}$	-	-	(0.0-0.6)	-
Yu-Tech(1972)	$C_d = 0.415 - 0.418F_1$	-	-	(0.0-0.6)	-
Ranga Raju vd. (1979	$C_d = 0.54 - 0.40F_1$	0.1-0.5	0.1-0.7	(0.2-0.5)	0.08
Cheong (1991)	$C_d = 0.30 - 0.14F_1^2$	0.28-0.78	0.5-1.64	(0.0)	0.09
Sing vd. (1994)	$C_d = 0.99 - 1.26F_1$ $C_d = 0.24 - 0.54p/h_1$	0.23-0.43	0.25-0.5	(0.42-0.85)	0.07 0.09
Jalili ve Borghei (1996)	$C_d = 0.474 - 0.273F_1 - 0.146p/h_1$	0.671	9.42	0.86	-
Borghei vd. (1999)	$C_d = 0.467 - 0.32F_1 - \frac{0.2p}{h_1} + 0.04L/b$	0.1-0.9	0.66-2.3	0.86	-

3.1.4. Yan Savak Kesitinde Sekonder Akım ve Hız Dağılımı

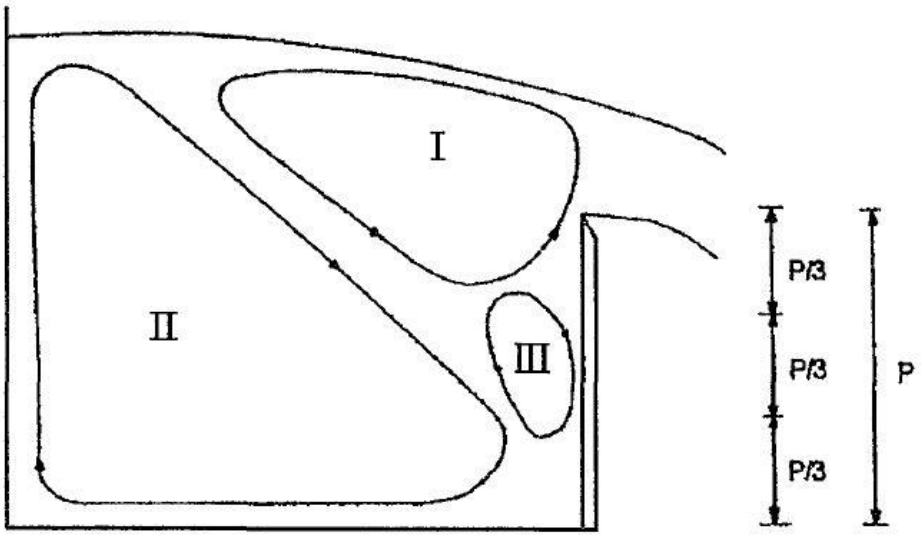
El-Khashab (1975), yan savakta akımın hareketini ve sekonder akımın karakteristiğini incelemiştir. El-Khashab (1975), çalışmasında yan savak eşiği üzerinden suyun bir kısmının savaklanarak yan savağa doğrudan katıldığı ve yan savak eşiği altında kalan bölgedeki suyun ise iki farklı akım davranışı sergilediğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.11. Yanal akım sebebiyle kanal en kesitindeki akımın hareketi (El-Khashab 1975)

Şekil 3.11'te gösterilen savak eşiğinde bulunan su kütlesinin yaklaşık olarak üçte birlik kısmı, eşiğin üzerindeki kısmında buluna A bölgesindeki suya katılarak yan savağa doğru akışa geçer. Oluşan bu durum sekonder akımın düşey hız bileşenlerinden meydana gelmektedir.

Yapılan çalışmada yan savağa doğru akışa geçmeyen su kütlesi yani toplam su miktarının yaklaşık olarak üçte ikilik kısmı eşik altında kalarak kanal tabanına doğru hareket eder. Yan savağın eşiği altında kalan kısımda yani kanalın taban kısmında sekonder akımın etkisi daha belirgin bir şekilde gözlenebilir. Bu durumda akım farklı hareketlenmeler gösterir, sekonder akımda bozulmalar gözlenir. Akım karakteristiğine göre 3 farklı bölgeye ayrılır (Şekil 3.12).

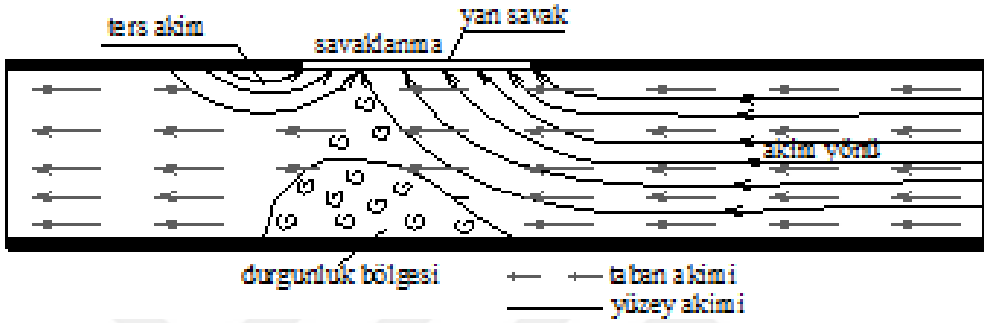


Şekil 3.12. Yanal akım sebebiyle kanal en kesitindeki oluşan sekonder akım (El-Khashab 1975)

Şekil 3.12'de görüleceği gibi suyun üçte birlik kısmı akışa geçtikten sonra kanal tabanına sekonder akımda bozulma izlenecektir. Sekonder akımda meydana gelen bozulmadan sonra iç kıyıda durgunluk bölgesi yani düşük hız alanı oluşumu gözlenir. İç kıyıya yakın kısımlarda tespit edilen kuvvetli sekonder akım, kanal tabanındaki enerjisi düşük akım tarafından iç kıyıya doğru itilerek; iç kıyının akım üst bölgesinde enerjisi düşük bir durgunluk bölgesi oluşturur (Bölge II). Kanalın taban kısmında oluşan bu durgunluk bölgesinin üzerinde yüksek akım çizgileri geçer ve yüksek hızlı akım yan savağa doğru tahliye olarak yeni bir akım bölgesi oluşturur (Bölge I). Oluşan bu akım yan savağın memba kısmında ve yan savak boyunca hızlıdır ancak yan savağın sonuna doğru ve mansap kısmında kararlı hale geçer. Oluşan bu yeni akımın büyüklüğü ve I Bölgesi yan savağın mansabına doğru gidildikçe etkisini kaybeder. Oluşan durgunluk sebebiyle I Bölge'sinde buluna su yan savağa doğru hareket eder. Bölge I ve Bölge II arasında süreksizlik Bölge III'ü oluşturur. Bölge III'te şiddetli sekonder akımlar gözlenir.

Nehir rejimli akım şartlarında yapılan deneysel çalışmalarda, yan savağın mansabında ters akım ve durgunluk bölgesi oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrılma bölgesinin yeri ve büyüklüğü, yan savak membasındaki Froude sayısına ve yan savağın uzunluğuna bağlıdır. El-Khashab (1975), yan savak boyunca mansaba doğru gidildikçe savaklanmadan dolayı ana kanaldaki akımın yavaşlayarak kinetik enerjisinin azaldığını

(yan savak boyunca Froude sayısı azalıyor), yan savağa doğru yanal akımdan kaynaklanan sekonder akımın şiddetlendiğini ve yan savağın ilk yarısı sonunda ayrılma bölgesi, ikinci yarısında ise ters akımın meydana geldiğini belirtmiştir (Şekil 3.13). Araştırmacı nehir rejimli akım durumunda sekonder akımın gücünün yan savak boyunca artarak gittiğini ve yan savaktan b kanal genişliği kadar mesafe sonra azaldığını belirtmiştir. Yan savak yüksekliği ve yan savak uzunluğu sabit tutulursa, Q_w/Q_1 oranı (savaklanma oranı) arttıkça sekonder akımın gücünün arttığını belirtmiştir.



Şekil 3.13. Yan savak boyunca durgunluk bölgesi ve ters akım (Ağaççıoğlu ve ark. 1998)

3.2. Hareketli Taban Oyulması

Bir hidrolik yapının genel olarak tanımlanmış bir sorunu çözmek için pratik bir önlem sağlaması amaçlanmıştır. Problemin tanımlanmasından sonra, sonraki aşamalar, problemi çözmek için bir yapı veya yapıların oluşturulmasıyla sonuçlanan aşama, bir dizi karar ve eylemle belirlenir. Tasarım sürecinin nihai sonucunu etkileyebilecek yönler değerlendirilmelidir. Hidrolik, geoteknik ve mühendislik özelliklerine ek olarak, sosyal koşullar, ekonomi, çevresel etki ve güvenlik gereksinimleri gibi olaylar da tasarım sürecini etkiler. Hidrolik yapılardaki tasarım sürecinde tasarımcıların önüne çıkan en büyük engel oyulma problemidir. Oyulma kabaca hareket halindeki suyun zemin malzemesini beraberinde sürüklemesi sebebiyle, zemin tanelerin etkileşimi ile birlikte hidrolik yapının tabanında meydana gelen deformasyondur. Hidrolik yapının temelinde veya tabanında meydana gelen oyulma durumu hasara veya yıkılmaya sebep olur.

Hidrolik yapıların yapısal tasarımı için teorik temel iyi bir şekilde oluşturulmuştur. Buna karşılık, hareketli tabanlı kanallarda ve akarsularda akış ve oyulma mekaniği iyi tanımlanamamıştır. Bunu sebebi ise belirli bir taşkın debisine

maruz kalan hidrolik yapıda meydana gelebilecek nehir taban hareketlerini önceden tam anlamıyla tahmin etmek mümkün değildir. Bu, yalnızca sorunun aşırı karmaşıklığından değil, aynı zamanda nehir özelliklerinin, hidrolik yapının beraberinde getirdiği daralma geometrisinin ve zemin-su etkileşiminin her hidrolik yapı ve her taşkın için farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Oyulma, nehir yatağının seviyesinin zemin hareketi ile birlikte düşürülmesi, bu seviye azalması ile beraber çukur oluşma durumudur. Bu çukurun varsayılan bir doğal seviyenin altına düşmesi (genellikle oyulma başlamadan önce nehir yatağının seviyesi) oyulma derinliği olarak adlandırılır. Oyulma türleri ise yerel oyulma veya genel taban oyulması olarak adlandırılır. Bu oyulma tipleri farklı zamanlarda ayrı ayrı olarak ya da eşzamanlı olarak meydana gelebilir.

Genel taban oyulması nehir üzerindeki hidrolik yapıdan bağımsız olarak gerçekleşir ve uzun vadeli ya da kısa vadeli oyulma olarak gerçekleşebilir. Kısa vadeli oyulma kısa aralıklarla art arda oluşan taşkın serilerinden ya da tek bir taşkından dolayı oluşabilir. Uzun vadeli oyulma ise birkaç yıl veya daha uzun süreli bir sürece yayılır ve aşamalı bir oyulma durumu içerir. Aşamalı oyulma, nehir havzasında meydana gelebilecek meteorolojik değişiklikler (Uzun süreli yüksek akışlar), jeomorfolojik değişiklikler (Jeomorfolojideki uzun vadeli değişimler nedeniyle nehir talveg kotunun düşmesi) veya insan faaliyetleri (baraj, köprü, bent, yol inşaatı) sebebiyle oluşabilir.

Yerel oyulma ise yatak üzerinde bulunan herhangi bir hidrolik yapının nehir zemini ile etkileşiminden meydana gelir. Yerel oyulma temiz su oyulması veya hareketli taban oyulması olarak ikiye ayrılır.

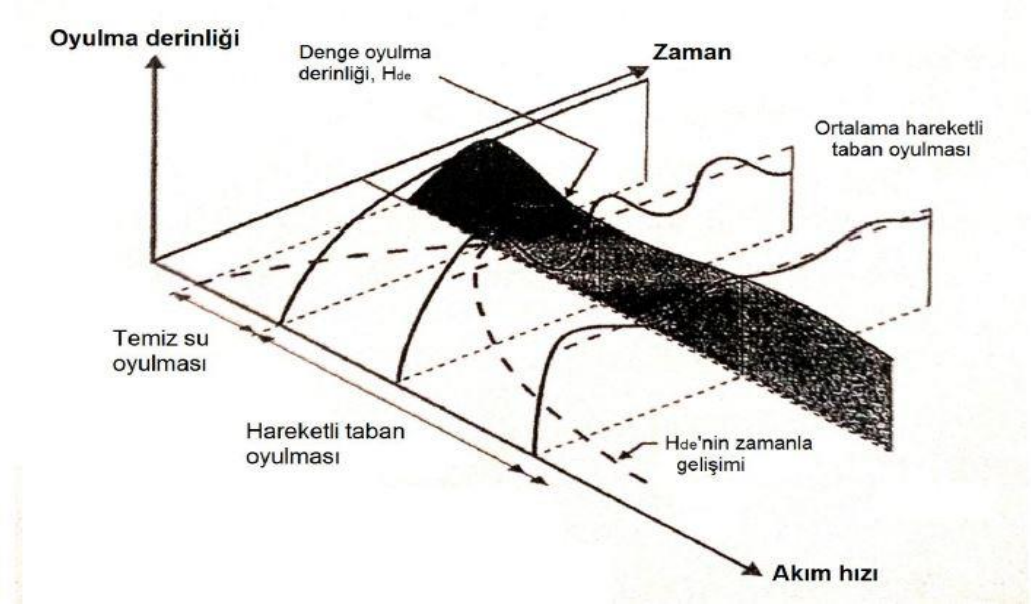
Temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması arasındaki temel fark ise akımın memba tarafındaki ortalama taban kayma gerilmesinin(τ) yatak malzemesini hareket ettirmek için gereken eşik değerden(τ_{kr}) daha az veya daha büyük olmasıdır. Akımın membasındaki ortalama taban kayma gerilimi eşik değerden düşükse, hidrolik yapının membasındaki yatak malzemesi hareketsizdir. Bu, temiz su oyulması koşulu olarak adlandırılır.

Hareketli taban oyulması ise akımın memba tarafındaki ortalama gerilmesinin eşik değerden daha büyük olduğu durumda gerçekleşir. Bu durum akımın memba tarafındaki yatak malzemesi hareket ettiği zaman meydana gelir. Bu durum, gelen

akımın sürekli olarak katı maddeyi yerel bir oyulma çukuruna doğru taşıdığı anlamına gelir.

Hareketli tabanlı bir akarsu belli bir denge durumundadır. Akarsuyun tabanı hareket halinde olsa bile talveg kotu değişmez. Akarsuya gelen akım akarsu tabanındaki malzeme miktarında kısa süreli değişimler meydana getirse de akarsu tabanı bir denge halindedir ve bu durum dinamik denge olarak adlandırılır. Oyulma durumu dinamik dengenin bozulması ile başlar, akarsu dengeye ulaştığında oyulma son bulur.

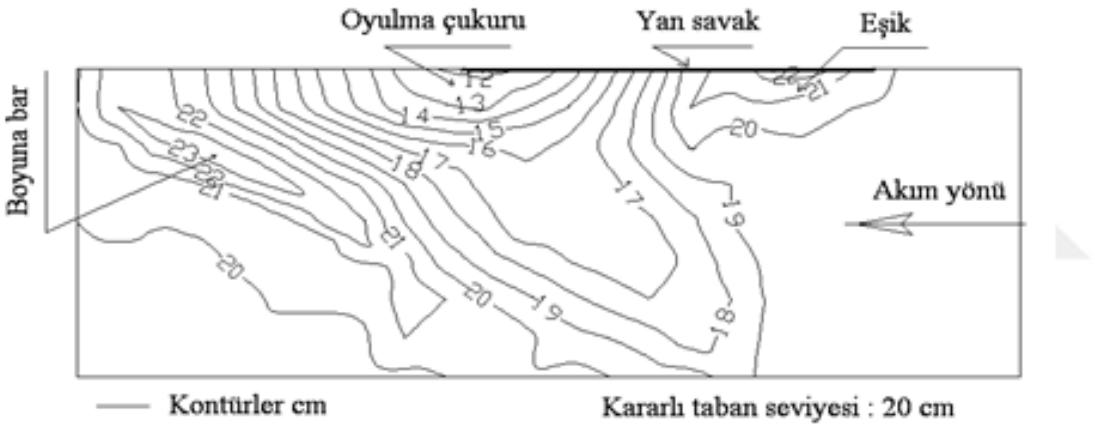
Melville ve Chiew (1999), temiz su oyulması halinde farklı büyüklükteki köprü ayaklarında meydana gelen maksimum denge oyulma derinlikleri ile ilgili deneysel çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması halinde oyulma derinliklerinin akım hızı ve zamanla değişimini Şekil 3.13'te vermişlerdir.



Şekil 3.14. Oyulma derinliğinin akım hızı ile değişimi (Melville ve Chiew, 1999)

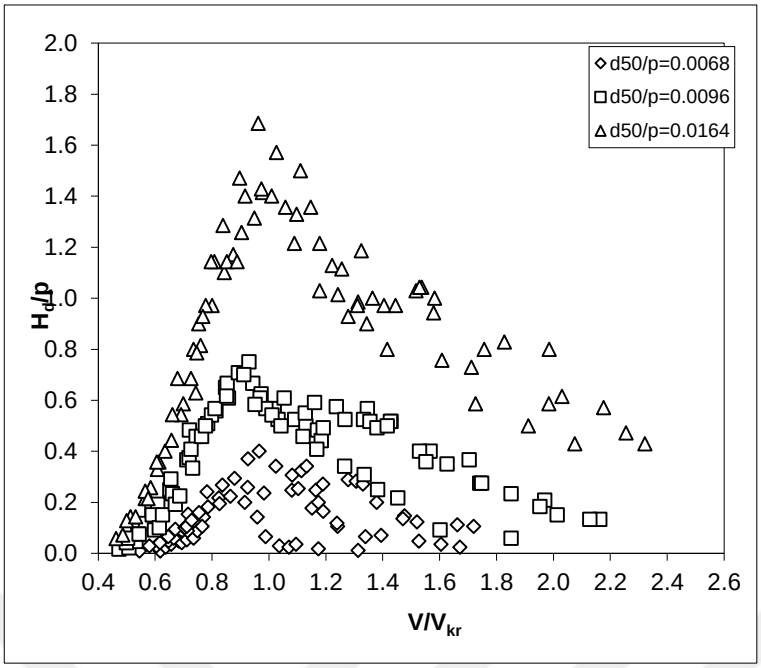
Yan savaklarda oyulma durumu ise Şekil 3.15'te gösterilmiştir. L=40 cm uzunluğunda ve p=7 cm kret yüksekliğindeki yan savakta taban topoğrafyasında meydana gelen değişimler Şekil 3.15'te verilmiştir. Yan savağın memba ve mansabında ana kanaldaki ortalama hız kritik hızdan küçüktür ($V_1/V_{kr}<1.0$ ve $V_2/V_{kr}<1.0$). Yan savak bölgesinde yanal savaklanmadan dolayı hız ve kayma gerilmelerinde azalmalar

olmakta ve bu da yan savağın mansabında durgunluk ve ayrılma bölgesinin gelişmesine neden olmaktadır. Kayma gerilmelerindeki değişimin sonucunda yan savağın mansabında boyuna bar ve dış kıyıya yakın bir oyulma çukuru oluşmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi maksimum oyulma derinliği ters akım bölgesinde oluşmaktadır. Zamana bağlı olarak bar ilk önce yan savağın orta kısmı ile mansap kısmı arasında dış kıyı ile belli bir açı yaparak oluşmuş, zamanla bu bar yan savağın dış kıyısına paralel bir hale gelmiş ve nihai durumda dış kıyı ile ters yönde belli bir açı yaparak iç kıyıya kadar gelişmiştir. Maksimum oyulma derinliği ve boyuna barın yeri durgunluk bölgesi ve ters akım alanın yerine bağlıdır. Durgunluk bölgesi ve ters akım alanının yeri V_1/V_{kr}, h_1/p, d_{50}/p ve L/b boyutsuzlarına bağlıdır. Ana kanalın mansabına doğru akımın şiddeti arttığı zaman ters akım bölgesi ve oyulma bölgesinin yeri yan savağın mansabına doğru kaymaktadır.



Şekil 3.15. Yan savakta V_1=0.38 m/s için taban topoğrafyasındaki değişimler (Önen 2005)

Şekil 3.16'da V/V_{kr} ile H_d/p arasında d_{50}/p'ye bağlı olarak da neredeyse doğrusal bir ilişki olduğu görülebilir. Oyulma derinliğinin V/V_{kr}'e bağlı olarak doğrusal olarak arttığı görülebilir.



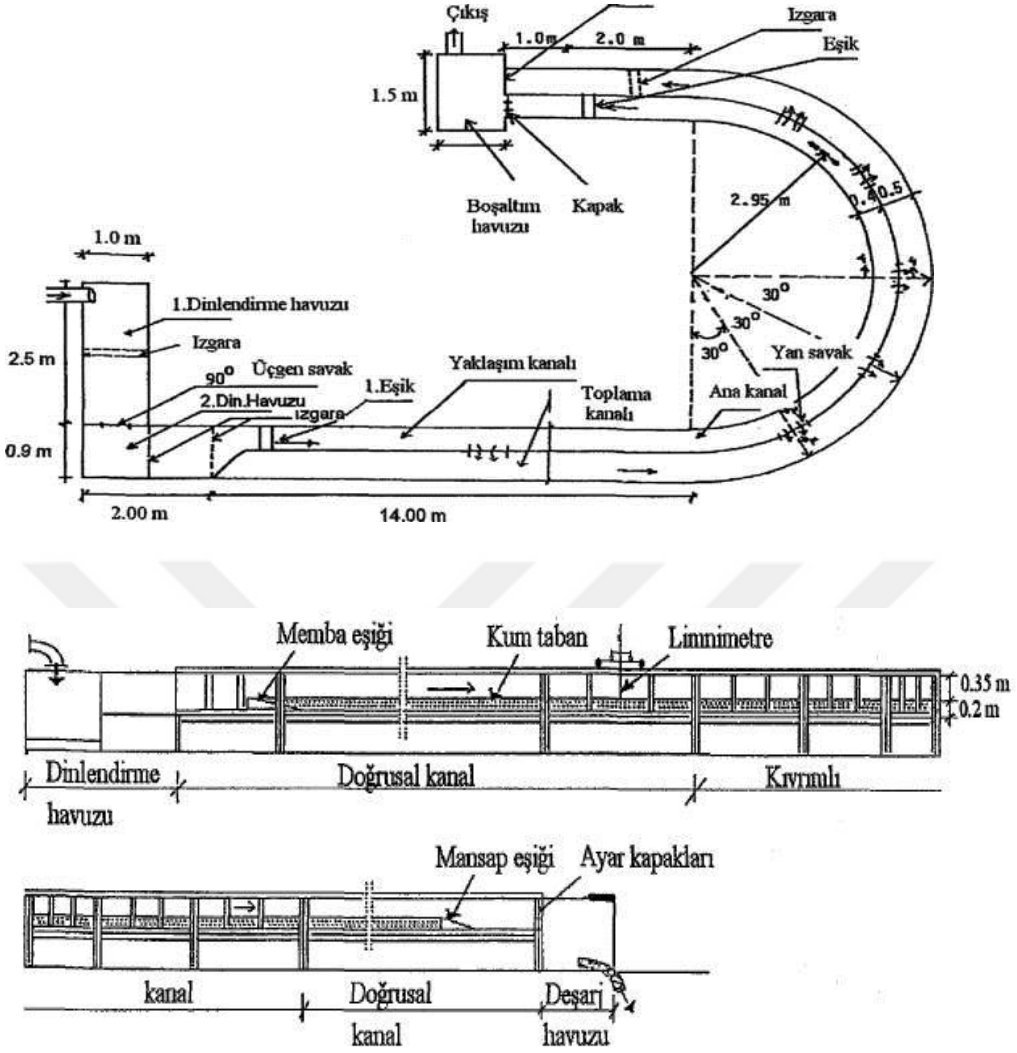
Şekil 3.16. Rölatif oyulma derinliğinin d_{50}/p etkisinde V/V_{kr}'e bağlı değişimi

3.3.Deney Kanalı ve Deneysel Çalışma

Bu çalışmada hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinlikleri Genetik İfadeli Programlama kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Matematiksel modelleme gerçek ya da fiziki olan bir durumun ya da sürecin matematik diline aktarılma ve matematiksel olarak ifade edilmesidir. Önen (2005) tarafından yapılan "Hareketli Tabanlı Akarsularda Yanal Akımın Hidrodinamiğinin İncelenmesi" isimli doktora tez çalışmasındaki deneysel veriler kullanılarak modellemeler yapılmıştır.

3.3.1.Deney Kanalı

Önen (2005) tarafından yapılan deneysel çalışmalar Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Hidrolik ve Kıyı Liman Laboratuvarında mevcut dikdörtgen en kesitli 180 derecelik kıvrımlı kanalda gerçekleştirilmiştir. Mevcut kanal toplam 0,90 m genişliğinde ve 0,60 m yüksekliğinde alüminyum tabanlıdır. Deney kanalının planı ve boyuna kesiti Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Deney kanalının planı ve boyuna kesiti (Önen, 2005)

Mevcut kanal, ana kanal genişliği net 0,4 m ve toplama (sağanak) kanalı genişliği 0,5 m olacak şekilde birbirine paralel iki kanaldan oluşmaktadır.

İhtiyaç duyulan su bodrum katta bulunan büyük depodan pompa vasıtasıyla zemin kattaki ana depoya basılmış; ana depodaki fazla su ise dolu savaktan savaklanarak bir by-pass borusundan tekrar büyük depoya döndürülmüştür. Bu sirkülasyon sırasında ana depodaki su yüksekliği sabit tutulmuş ve buradan üzerinde bir vana bulunan boru vasıtasıyla istenilen miktarda sabit debi deney kanalım besleyen dinlendirme havuzuna alınmıştır.

Kanalın başındaki dinlendirme havuzu 2,5x1,0 m boyutlarında ve 0,7 m yüksekliğinde olup ana depodan gelen suyu deney kanalına iletmektedir. Suyu

sakinleştirmek için havuzun içine delikli tuğla ve ızgara yerleştirilmiştir. Havuzun sonunda ise üst genişliği 0,7 m olan bir üçgen ölçüm savağı mevcuttur. Savağın tepe noktasının havuz tabanından yükseldiği 0,24 m olup, bu üçgen savak ana kanala verilen debinin ölçülmesinde kullanılmıştır. Üçgen savak üzerindeki savak yükünün ölçümü için savak kesitinden 0,35 m geride sabit bir limnimetre yerleştirilmiştir.

Üçgen savaktan savaklanarak kanala akan su 2,0x0,90 m boyutlarında ikinci bir dinlendirme havuzunda sakinleştirilmiştir. Bu havuzun ortasına ve mansabına birer delikli perde konulmuştur.

Deney kanalı birbirine seri olarak bağlanmış yedi bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; Yaklaşım Kanalı, Kıvrımlı Kanal, Doğrusal Çıkış Kanalı, Yan Savak Ayırma Duvarı, Toplama (Sağanak) Kanalı, Boşaltım Havuzu, Hareketli Seviye Ölçüm Arabasıdır (Önen, 2005).

3.3.2.Deneysel Çalışma

Bu çalışma, 14 m'lik doğrusal yaklaşım kanalı, 180°'lik 2.95 m eksen eğrilik yarıçapına sahip 90 cm genişliğinde kıvrımlı kanal ve kıvrımdan sonra 3 m'lik doğrusal mansap kanalında gerçekleştirilmiştir. Kıvrımlı kanalın "kıvrımdan etkilenmeyen" doğrusal memba kısmında ayırma duvarının üzerinde çeşitli kret yüksekliklerinde ve uzunluklarında dikdörtgen yan savaklar yerleştirilmiştir (Şekil 3.14). Ana kanal taban eğimi % 0.1'dir. Deneyler nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında ve serbest savaklarıma hali için gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı (savak yükü) olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Deneyler, doğrusal kanalda L=25, 40 ve 50 cm uzunluklu ve kum tabandan itibaren p=7, 12 ve 17 cm kret yükseklikli yan savaklar için yapılmıştır.

Ana kanalın memba ve mansap uçlarına 20 cm yüksekliğinde iki eşik yerleştirilmiş ve aralarına 20 cm yüksekliğinde, d_{50}=1.15 mm ve σ_g=1.74 olan kuvars kumu serilmiştir. Ayrıca membadaki eşikten 1 m kadar geride iki sıra delikli tuğla yerleştirilerek akımın doğrusal kanala çalkantısız ulaşması sağlanmıştır. Her deneyden önce kanaldaki kum karıştırılarak taban düzlenmiş ve daha sonra vana biraz açılarak kanala yavaş bir şekilde su verilmeye başlanmıştır. Kanalın mansabındaki eşiğin üzerine 20 cm yüksekliğinde ikinci bir eşik yerleştirilerek kanala verilen su yavaşça bu bölümde şişirilmiş ve tabanda herhangi bir bozulmaya meydan verilmemiştir. Doğrusal kanalın

bu kısmında su seviyesi ikinci eşik seviyesine (kanal tabanından itibaren 40 cm) geldikten sonra bütün kanaldaki su seviyesinin eşit olması beklenmiştir. Bütün kanal boyunca su seviyesi eşit olduktan sonra ihtiyaç debisine ulaşılması sağlanmış ve daha sonra tabandaki kumun bozulmaması için kanala bırakılan ikinci eşik yavaşça çıkarılmıştır. Kanalda akım hızlan kanalın sonunda bulunan radyal kapaklarla ayarlanmıştır. Deney bittikten sonra vana yavaşça kapatılarak tabanda oluşan topografyanın bozulmaması için 20 cm'lik eşik doğrusal kanalın mansabındaki eşiğin üzerine tekrar konulmuş ve bu sayede suyun kanaldan yavaşça tahliyesi sağlanmıştır. Bütün bu işlemlerden sonra limnimetre yardımıyla yan savak bölgesinde oluşan maksimum oyulma derinliği ölçülmüştür.

Denge oyulma süresi olarak, oyulma derinliğinin değişiminin birbirini takip eden bir saatte savak kret yüksekliğinin %1'inden küçük olması halinde denge oyulma derinliğine ulaşıldığı kabul edilmiştir. Daha sonra denge oyulma süresi ile denge oyulma derinliği arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Bu ilişkide deney süresinin denge oyulma süresinin %50'si olması halinde oyulma derinliğinin denge oyulma derinliğinin %90-95'ini geçtiği görülmüştür. Daha sonra diğer temiz su oyulması deneylerinde elde edilen bu sonuçların ışığında savak kret yüksekliği ve Vı/Vkr'e bağlı olarak 150-400 dakika civarında seçilmiştir. Temiz su oyulması hali için yapılan deneylerden sonra aynı yan savaklarla hareketli taban oyulması için de deneyler yapılmıştır. Hareketli taban hali için önce pilot deneylerle çeşitli akım şartlan için sürüntü debileri belirlenmiş, diğer deneylerde ana kanal membasından deney süresince belirlenen katı madde ilave edilmiştir. Hareketli taban hali deneyleri 15-90 dakika arasındaki sürelerde ve her deney için en az 4-5 taban dalgasının yan savaktan geçişine imkân sağlayacak şekilde sürdürülmüştür. Ayrıca, hareketli taban hali deneyleri oyulma çukurunu dolduran bir taban dalgasının etkisinin geçmesi ve bu noktada yeni bir taban dalgası gelip oyulma çukurunu doldurmadan kesilmiştir. Doğrusal kanalda temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması için toplam 250'ye yakın deney yapılmıştır (Önen, 2005).

3.4.Genetik İfadeli Programlama

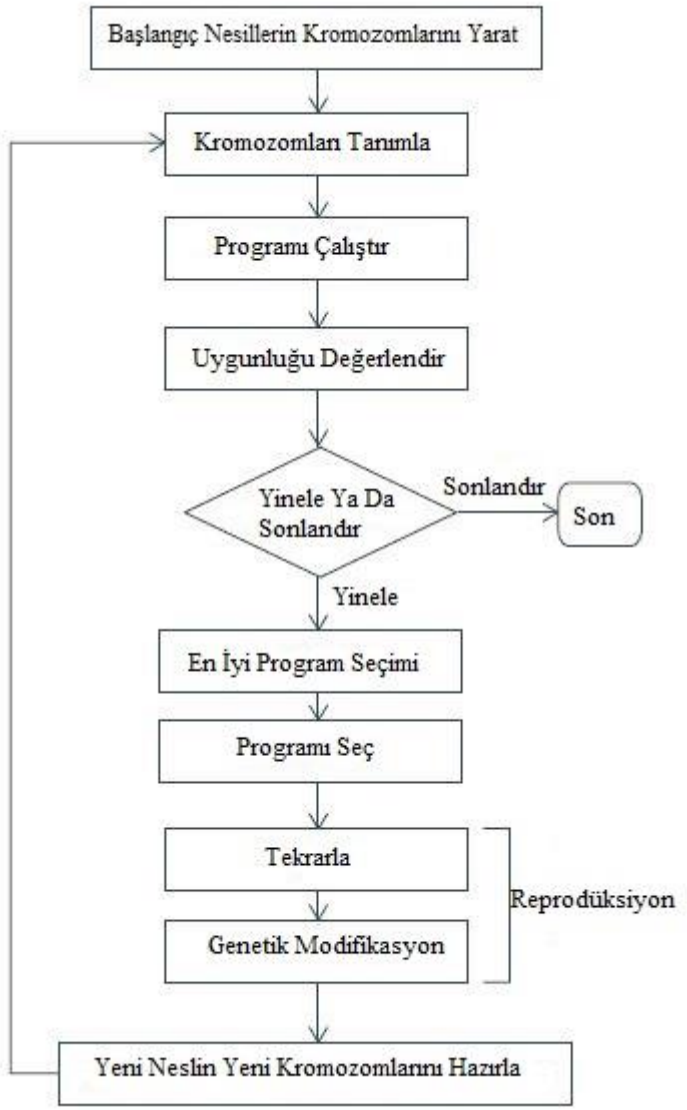
Bilgisayar programlamada, genetik ifadeli programlama (GEP), bilgisayar programlarını veya matematiksel modelleri oluşturan evrimsel bir algoritmadır. Bu bilgisayar programları, yaşayan bir organizmaya benzeyen boyutlarını, şekillerini ve

kompozisyonlarını değiştirerek öğrenen ve adapte olan karmaşık ağaçsal yapılardır. Ve canlı organizmalar gibi, GEP bilgisayar programları da sabit uzunlukta basit doğrusal kromozomlarda kodlanır. Dolayısıyla GEP, genetik bilgiyi tutmak ve iletmek için basit bir genomdan ve çevreyi keşfetmek ve ona uyum sağlamak için karmaşık bir fenotipten faydalanan bir genotip-fenotip sistemidir.

Genetik ifadeli programlama, evrimsel algoritmalar ailesine aittir. GEP, genetik algoritmalar ve genetik programlamanın harmanlanmasından oluşturulmuş matematiksel bir ifade yöntemidir. Genetik ifadeli programlama; genetik algoritmalardan, sabit uzunlukta doğrusal kromozomları alır ve genetik programlamadan da farklı boyut ve şekillerde analiz ağaçlarını alır. Bu iki sistemin kullanılması ile genetik ifadeli programlama dili ortaya çıkar.

Genetik ifadeli programlama, lineer kromozomlar ve analiz ağaçlarını fenotip olarak işler, genotip-fenotip sistemi oluşturur. Bu genotip-fenotip sistemi her bir kromozomdaki çoklu ayrıştırma ağaçlarını kodlar. Bu durum GEP tarafından oluşturulan bilgisayar programlarının çoklu ayrıştırma ağaçlarından oluştuğu anlamına gelir. Bu ayrıştırma ağaçları gen ifadesinin bir sonucu olduğundan, GEP'te bunlara ifade ağacı denir.

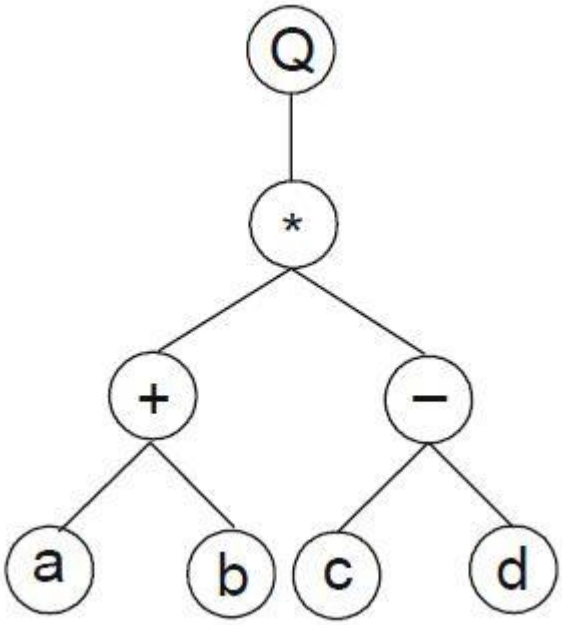
Genetik İfadeli Programlamanın temel aşamaları, Şekil 3.15'de şematik olarak gösterilmiştir. İşlem, belirli sayıda kişinin kromozomlarının rastgele üretilmesiyle başlar (ilk popülasyon). Daha sonra bu kromozomlar analiz edilir ve her bir bireyin uygunluğu, bir dizi uygunluk vakasına (değerlendirme ortamı olarak da adlandırılır) karşı değerlendirilir. Bireyler daha sonra o ortamdaki performanslarına göre seçilir. Bu yeni bireyler sırayla aynı gelişim sürecine tabi tutulur. İşlem, belirli sayıda nesiller için veya iyi bir çözüm bulunana kadar tekrar edilir.



Şekil 3.18. Genetik ifadeli algoritmanın akış şeması (Ferreira, 2006)

GEP gibi bir sistemin avantajları doğadan anlaşılacağı gibi oldukça fazladır. İlk olarak, kromozomlar basit varlıklardır; doğrusal, kompakt, nispeten küçük, genetik olarak manipüle edilmesi kolay (kopya, mutasyon, yeniden birleştirme). İkincisi, ifade ağaçları yalnızca kendi kromozomlarının ifadesidir. Üreme sırasında, modifikasyonlarla çoğaltılan ve bir sonraki nesle iletilen ifade ağaçlarının değil, bireylerin kromozomlarıdır.

Genetik İfadeli Programlamada genom veya kromozom, bir veya daha fazla genden oluşan doğrusal, sembolik bir sabit uzunluklu diziden oluşur. Sabit uzunluklarına rağmen, GEP kromozomlarının ifade ağaçlarını farklı boyut ve şekillerde kodlayabildikleri görülmektedir. Kromozomların dilinin ifade ağaçlarının diline nasıl çevrildiği; kromozomların genotip ve ifade ağaçlarının fenotip olarak nasıl işlev gördüğü Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Örnek ifade ağacı (Ferreira, 2001)

Şekil 3.16'da gösterilen ifade ağacı denklem 3.7'in şekilsel gösterimidir.

$$\sqrt{(\mathbf{a}+\mathbf{b})*(\mathbf{c}-\mathbf{d})} \qquad \mathbf{3.7}$$

Şekil 3.16'te gösterilen ifade ağacının kromozom dilinde gösterimi ise 3.8'de verilmiştir.

01234567

Q*+-abcd 3.8

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Giriş

Bu çalışmada amaç; hareketli tabanlı bir akarsuda yan savak civarındaki oyulma derinliklerini etkileyen parametreleri belirlemek ve bu parametreler arasında var olan ilişkileri belirlemektir. Önen (2005) tarafından yapılan "Hareketli Tabanlı Akarsularda Yanal Akımın Hidrodinamiğinin İncelenmesi" isimli doktora tezi çalışmasında yapılan fiziki model, Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemiyle matematiksel ortama aktarılmıştır. Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemiyle farklı modeller oluşturarak, bu parametrelerin oyulma derinliği miktarına etkisini ve daha önce oluşturulmuş olan fiziki modelle olan bağlantıları ortaya çıkarılmıştır.

Genetik İfadeli Programlama yöntemiyle hesaplanan değerlerin doğruluğu için regresyon analizi kullanılacaktır. Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılması için kullanılan istatistiksel bir modeldir (Sykes 1993). Genetik İfadeli Programlama yaklaşımı ile hesaplanan rölatif denge oyulma derinliği (H_d/p), fiziki modelde laboratuvar ortamında ölçülen değerlerle karşılaştırılmış ve modellerin performansı için de Belirleme Determinasyon Katsayısı (R^2) ve Ortalama Karesel Hata Kökü (RMSE) kullanılmıştır.

Regresyon modelinde hesaplanacak R^2 değeri her zaman 0 ve 1 arasında çıkar. Bağımlı değişkenler arasında mantıklı bir ilişki öne sürebilmek için yüksek bir R^2 değeri ve düşük RMSE değeri gereklidir. Bu durum bir modelin güvenirliliği ve tahmin amaçlı kullanılabilmesi için oldukça önemlidir (Sykes 1993).

4.2.Genetik İfadeli Programlama Modelinin Oluşturulması

Genetik İfadeli Programlama uygulamasında, tüm uygunluk durumları için belirli bir hata payı içerisinde doğru sonuçları regresyon analizi ile veren bir formül oluşturulmalıdır. Bu formül için çok küçük mutlak aralıklar seçilirse akış oldukça yavaşlar ve sonuca ulaşmak zorlaşır. Öte yandan büyük aralıklar seçilirse gerçeklikten uzak sonuçlarla karşı karşıya kalmak mümkündür (Ferreira 2001).

Bu sorunu çözmek için akışı bozmadan sorunu çözmeyi sağlayan evrimsel strateji geliştirilmiştir. Bu sistem akışı bozmadan mümkün olan en küçük hata sınırları içinde çözümü bulmayı hedefler. Matematiksel olarak *fi* formülü seçilen hata mutlak bir

hata ise denklemle (4.1a), ve seçilen hata nispi hata ise denklemle (4.1b) ifade edilir (Ferreira 2001):

$$f_i = \sum_{j=1}^{C_t} \left(M - \left|C_{(i,j)} - T_{(j)}\right|\right) \qquad 4.1a$$

$$f_i = \sum_{j=1}^{C_t} \left(M - \left|\frac{C_{(i,j)} - T_{(j)}}{T_{(j)}} \cdot 100\right|\right) \qquad 4.1b$$

Bu çalışmada model oluşturulurken hata olarak mutlak hata kullanılacak, yani 4.1a fonksiyonu kullanılacaktır.

Ferreira (2006), çalışmasında ise GEP Modelinin kullanımında ve hazırlanmasında beş önemli basamak olduğunu belirtmiştir. İlk basamak; GEP'e girilecek olan uygun formülün oluşturulmasıdır (5.1a). Modelin oluşturulmasında ilk aşamada kullanılan fonksiyon;

$$\mathbf{Hd/p} = \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{c_i}} (\mathbf{M} - \left|\mathbf{c_{(i,j)}} - \mathbf{T_j}\right|) \qquad 4.2$$

Burada, Hd/p: Rölatif denge oyulma derinliği; M: Seçim aralığı C(i,j): Bireysel kromozomlar tarafından değiştirilen değer (i: uygun durumlar için, j: uygun olmayan durumlar için), Tj: En uygun durum için hedef değer. Eğer |C(i,j) - Tj| (doğruluk) 0.01' den az ya da eşit ise, o zaman doğruluk sıfıra eşit olur ve fi=fmax=CiM. Bu durumda, M=100 alınır ve bu sebeple fmax=1,000 olur.

İkinci önemli basamak, kromozomları üretmek için T dizinimi ve f fonksiyonu seçilir. Bu problemde dizinimler bağımsız değişkenlerden Hd/p=f(V/V_{kr}, L/b, (h_1-p)/h_1, d_{50}/p) oluşmaktadır. Uygun fonksiyon kümesinin seçiminde gerekli tüm fonksiyonları içerecek iyi bir tahmin yapılır. Bu durumda, dört temel matematiksel işlem (+, -, *, /) ve bazı temel matematiksel fonksiyonlar (1/x, $x^{1/2}$, $x^{1/3}$, $x^{1/4}$, x^2, x^3) kullanılmıştır.

Üçüncü basamakta; kromozomal yapı, yani baş kısmın uzunluğu ve gen sayısı belirlenmektedir. Bu kısımda, eğitim dizinimindeki ortalama karesel hata (RMSE) en uygun fonksiyon olarak alınmıştır. Dördüncü önemli basamak ise; bağlantı fonksiyonun

seçimidir (toplama, çıkarma, çarpma, bölme). Bu durumda, çoğaltma yöntemiyle Alt-İfade ağaçlarından bağlantı kurulur. Son olarak, beşinci önemli basamakta; genetik katılımcıların, varyasyon ve oranlarından kaynaklı seçilimler yapılır. Tüm genetik kullanıcıların kombinasyonu (mutasyon, aktarma ve yeniden birleştirme) en uygun GEP Modelinin Parametreleri ile kullanılmıştır (Güven ve Günal 2008).

Bu çalışmada en iyi GEP modelini belirlemek için yapılan denemelerden sonra baş uzunluğu, h=8 ve kromozom başına 3 gen seçilmiştir. Bağlantı fonksiyonu olarak da çarpma kullanılmıştır. Son olarak tüm genetik operatörlerin birleşimi genetik operatörler kümesi olarak kullanılmıştır. GEP modelinin eğitim parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Modellemede Kullanılan Değişkenler

P1	Fonksiyon Seti	+,-,x,/,$\sqrt{x}$,exp,x^2,x^3,$\sqrt[3]{x}$,1/x
P2	Gen Sayısı	3
P3	Başlık Sayısı	8
P4	Bağlantı Fonksiyonu	Çarpma
P5	Jenerasyon Sayısı	Jenerasyon Sayısı Değişik
P6	Kromozomlar	30-45
P7	Mutasyon Oranı	0.044
P8	Ters Çevirme Oranı	0.1
P9	Tek Nokta Yeni Kombinasyon Oranı	0.3
P10	İki Nokta Yeni Kombinasyon Oranı	0.1
P11	Gen Yeniden Kombinasyon Oranı	0.1
P12	Gen Yer Değiştirme Oranı	0.1

4.3.GEP Yöntemi İle Oluşturulan Modeller

GEP yöntemi ile model oluşturma çalışmalarında öncelikle deneysel çalışmada etkili olan parametrelerin belirlenmesi gerekir. Dikdörtgen en kesitli ve hareketli tabanlı bir kanalda dikdörtgen yan savak üzerinde akıma etki eden parametreler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yan savak akımına etki eden parametreler

DEĞİŞKENLER	İŞARET	BİRİM	BOYUT
1. Kanala Ait Değişkenler			
Kanal Taban Eğimi	J_0	---	---
Ana Kanal Genişliği	b	m	L
2. Akışkana Ait Değişkenler			
Akışkanın Özgül Kütlesi	ρ	kg/m^3	ML^{-3}
Akışkanın Kinematik Viskozitesi	υ	m^2/sn	$L^{+2}T^{-1}$
Yüzey Gerilmesi	σ	kg/m^2	KL^{-2}
Yerçekimi İvmesi	g	m/sn^2	LT^{-2}
3. Akıma Ait Değişkenler			
Akım Derinliği	h_1	m	L
Yan Savak Başlangıcında Ortalama Hız	V_1	m/sn	L/T^{-1}
Ana Kanaldaki Akımın Yan Savağa Sapma Açısı	ψ	---	----
4. Yan Savağa Ait Değişkenler			
Yan Savak Eşik Yüksekliği	p	m	L
Yan Savak Su Yüzü Genişliği	L	m	L
5. Taban Malzemesine Ait Değişkenler			
Taban Malzemesinin Özgül Kütlesi	ρ_s	kg/m^3	ML^{-3}
Taban Malzemesinin Medyan Çapı	d_{50}	m	L

Hareketli tabanlı dikdörtgen bir kanalda yan savakta meydana gelen oyulma derinliği H_d, aşağıdaki parametrelerin fonksiyonudur.

$$f(H_d, \upsilon, g, \rho_s, h_1, b, p, L, \psi, V_1, \rho, d_{50}, J_0, \sigma)=0 \qquad 4.3$$

J_0 ve σ'nın elementer akım parçacığı üzerinde etkisi küçük olduğu için ihmal edilebilir. Bu sebeple denklem şu şekilde yazılabilir.

$$f(H_d, \upsilon, g, \rho_s, h_1, b, p, L, \psi, V_1, \rho, d_{50})=0 \quad (4.4)$$

Bu çalışmada modeller oluşturulurken bağımsız dört değişken girdisi (V/V_{kr}, L/b, $(h_1-p)/h_1$, d_{50}/p) kullanılarak çıkış verisi (H_d/p) elde edilmiştir. Burada V/V_{kr}: Yan savağı memba ve mansabında bulunan ana kanaldaki ortalama hızın, tane hareketi yani oyulma başlama anındaki kritik hıza oranı (Rölatif akım hızı), L/b: Boyutsuz yan savak uzunluğu, $(h_1-p)/h_1$: rölatif yan savak kret yüksekliği, d_{50}/p: Taban malzemesi dane çapı, çıkış verisi olarak elde edilen H_d/p ise rölatif denge oyulma derinliğini ifade etmektedir.

GEP yöntemi ile model oluşturma çalışmalarında; fiziki modelden ölçüm yoluyla elde edilen bağımsız dört değişken (V/Vkr, L/b, (h1-b)/h1, d_{50}/p) ve çıktı verisi Hd/p'ye ait 235 farklı veri bulunmaktadır. Bu 235 adet verinin %80'i yani 188 veri Eğitim (eğitim) seti olarak kullanılmış olup geriye kalan %20'lik 47 adet veri Doğrulama (test/validation) verisi olarak kullanılmıştır. Test verileri programın yaptığı hesaplamaların karşılaştırılması için kullanılacaktır.

Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlere ait deney aralıkları ve yan savağa ait boyut aralıkları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan yan savak boyutları ve bağımsız değişkenlere ait deney aralıkları

p (cm)	L (cm)	h_1 (cm)	$(h_1-p)/h_1$	d_{50}/p	L/b	V_1 (m/s)	V_c (m/s)	V_1/V_c
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
7	25	12-20	0.45-0.66	0.0164	0.625	0.20-0.91	0.43-0.47	0.46-2.08
12	25	19-27	0.37-0.55	0.0096	0.625	0.22-0.84	0.46-0.49	0.47-1.85
17	25	27-33	0.38-0.49	0.0068	0.625	0.3-0.63	0.49-0.5	0.60-1.31
7	40	14-20	0.50-0.63	0.0164	1.0	0.22-0.99	0.44-0.47	0.50-2.25
12	40	19-27	0.38-0.56	0.0096	1.0	0.23-0.98	0.46-0.49	0.50-2.16
17	40	24-29	0.30-0.40	0.0068	1.0	0.26-0.79	0.48-0.50	0.55-1.67
7	50	12-18	0.44-0.60	0.0164	1.25	0.21-1.00	0.43-0.46	0.49-2.32
12	50	17-24	0.30-0.50	0.0096	1.25	0.21-0.95	0.46-0.48	0.50-2.13
17	50	24-28	0.30-0.40	0.0068	1.25	0.27-0.81	0.48-0.49	0.58-1.72

Model çalışmalarında 4 değişkenli, 3 değişkenli ve 2 değişkenli varyasyonlar oluşturularak sonuçlar gözlenmiştir. İlk oluşturulan model olan Model-1'de tüm değişkenler V/Vkr, L/b, (h1-b)/h1, d50/p hesaplamalara dahil edilmiştir. Model-2'de V/Vkr, (h1-p)/h1, d50/p, Model-3'te L/b, (h1-p)/h1, d50/p, Model-4'te V/Vkr, L/b, d50/p, Model-5'te V/Vkr, L/b, (h1-p)/h1 değişkenleri olmak üzere 3 değişkenli hesaplama yapılmıştır. Model-6'da V/Vkr, (h1-p)/h1, Model-7'de (h1-p)/h1, d50/p ve Model-8'de L/b, (h1-p)/h1 olmak üzere 2 değişkenli hesaplamalar yapılmıştır. Toplam oluşturulan model sayısı 8 olmak üzere Model-1, Model-2 ve Model-3 için ifade ağacı (ET)'nin şekilsel gösterimi, GEP formülleri, fiziki modelde elde edilen değerler ve matematiksel model değerlerin karşılaştırılmasını gösteren grafikler verilmiştir. Geriye kalan diğer modeller Model-4,5,6,7,8 için ise Eğitim (eğitim) ve Doğrulama (test/validation) hesaplamalarına ait R^2 ve RMSE değerleri tablo şeklinde verilmiştir. Sonuç olarak verilen R^2 ve RMSE değerleri ile oluşturulan GEP modellerinin performansı hakkında bilgi sahibi olunacaktır.

Model-1

Genetik İfadeli Programlama yöntemi ile elde edilen Model-1 için ifade ağacı (ET) Şekil 4.1'deki gibi elde edilmiştir. Bu ifade ağacından yola çıkılarak GEP formülü elde edilmiştir. Elde edilen GEP formülü şu şekildedir.

```
y = ((((d[2]+d[1])+d[0])+d[2])*((d[2]+d[1])*(d[2]-d[3])))
    * ((((d[0]*d[0])*(G2C7*d[3]))*pow((d[2]*d[1]),3))+d[2]);
    *((sqrt((d[3]*G3C3))+pow(d[2],3))-((d[3]*d[3])-(d[1]*d[3])));        4.5
```

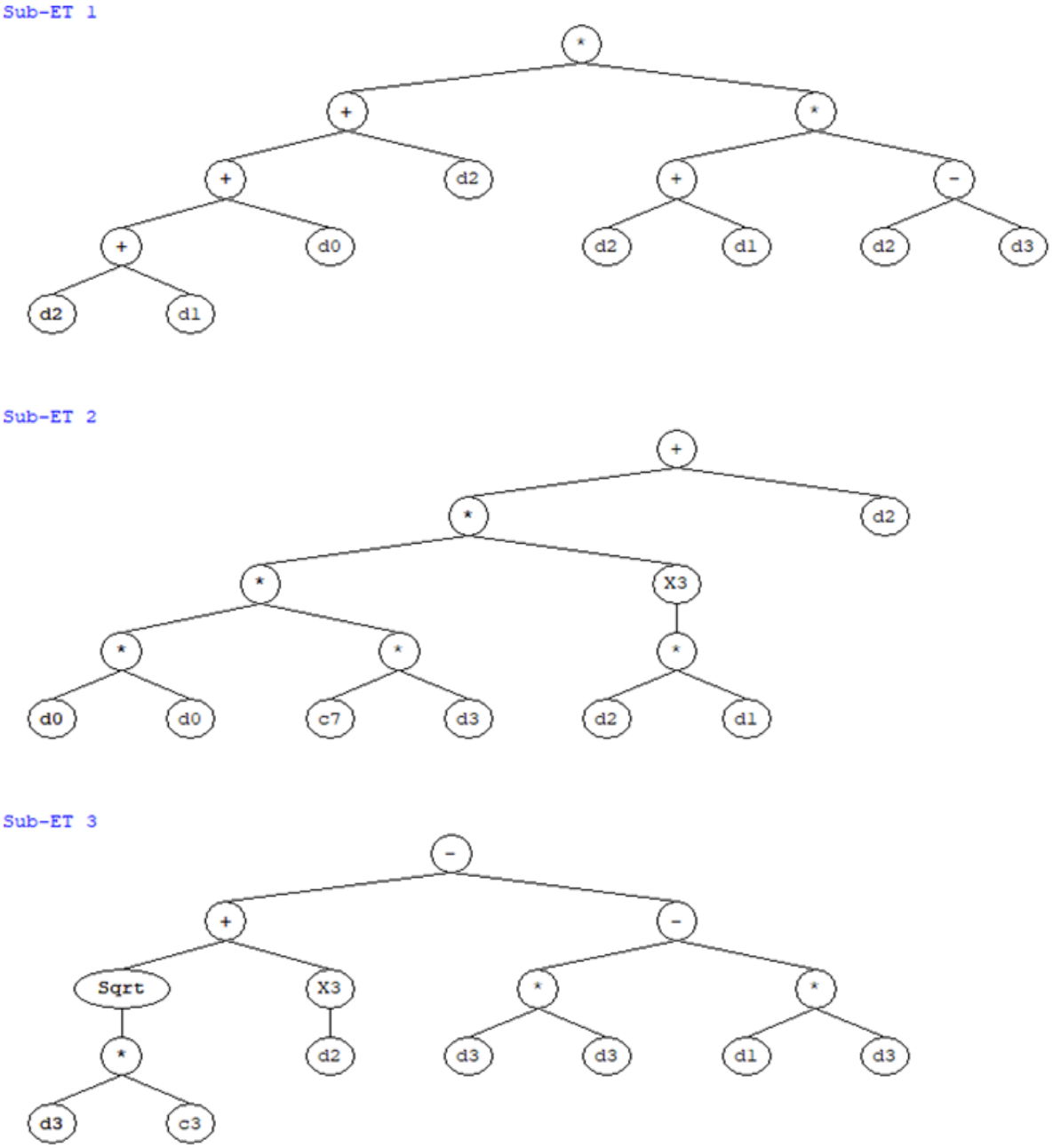
Formülde bulunan sabitlerin değeri G2C7=-15.06 ve G3C3=10.63'dir. Çıktı verimiz y=Hd/p olmak üzere d[0]=V/Vkr, d[1]=L/b, d[2]=(h1-p)/h1 ve d[3]=d50/p'dir. Burada V/Vkr: Yan savağı memba ve mansabında bulunan ana kanaldaki ortalama hızın, tane hareketi yani oyulma başlama anındaki kritik hıza oranı(Rölatif akım hızı), L/b: Boyutsuz yan savak uzunluğu, (h1-p)/h1: rölatif yan savak kret yüksekliği, d50/p: Taban malzemesi dane çapı, çıkış verisi olarak elde edilen Hd/p ise rölatif denge oyulma derinliğini verir. İlgili sabitler, değişkenler ve çıktı verisi formülde yerine bırakıldıktan sonra:

$$\mathbf{Hd/p} = \left((\mathbf{V/V_{kr}} + \mathbf{L/b} + \mathbf{2}\,(\mathbf{h_1} - \mathbf{p})/\mathbf{h_1}) * (\mathbf{L/b} + (\mathbf{h_1} - \mathbf{p})/\mathbf{h_1}) * ((\mathbf{h_1} - \mathbf{p})/\mathbf{h_1} - \mathbf{d_{50}/p})\right) * \left((\mathbf{V/V_{kr}})^{\mathbf{2}} * (\mathbf{d_{50}/p} * \mathbf{-15.06}) * (((\mathbf{h_1} - \mathbf{p})/\mathbf{h_1} * \mathbf{L/b})^{\mathbf{3}}) + (\mathbf{h_1} - \mathbf{p})/\mathbf{h_1})\right) * \left(\left(\sqrt{\mathbf{d_{50}/p} * \mathbf{10.63}} + ((\mathbf{h_1} - \mathbf{p})/\mathbf{h_1})^{\mathbf{3}}\right) - \left((\mathbf{d_{50}/p})^{\mathbf{3}} - \left(\mathbf{L/b} * (\mathbf{d_{50}/p})\right)\right)\right)$$

4.6

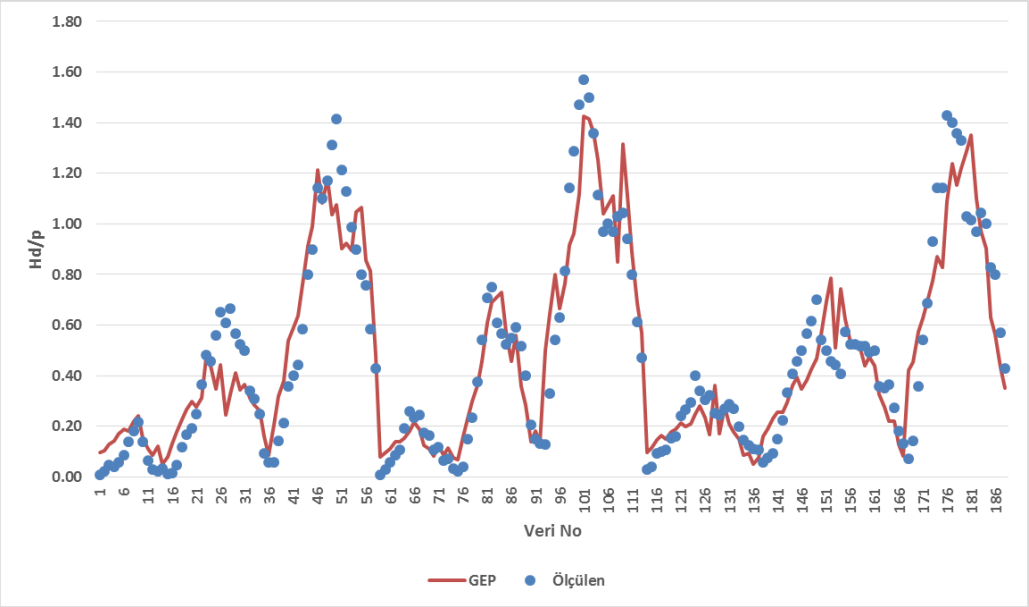
Şeklinde elde edilir.

Model-1'de yapılan hesaplamalar sonucunda Eğitim (eğitim) verilerine ait R^2=0.864 ve RMSE=0.145 olarak, Doğrulama (test/validation) verilerine ait R^2=0.858 ve RMSE=0.153 olarak bulunmuştur.

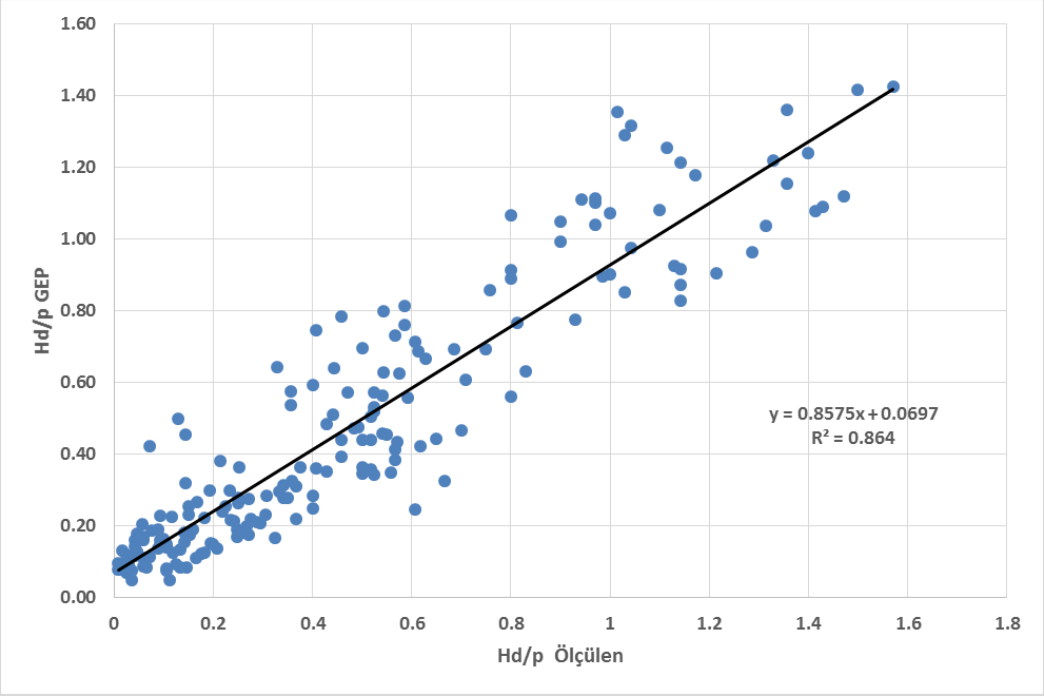


Şekil 4.1. GEP Formülü İçin Model-1 İfade Ağacı (ET)

Eğitim verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.2a ve Şekil 4.2b'de verilmiştir.

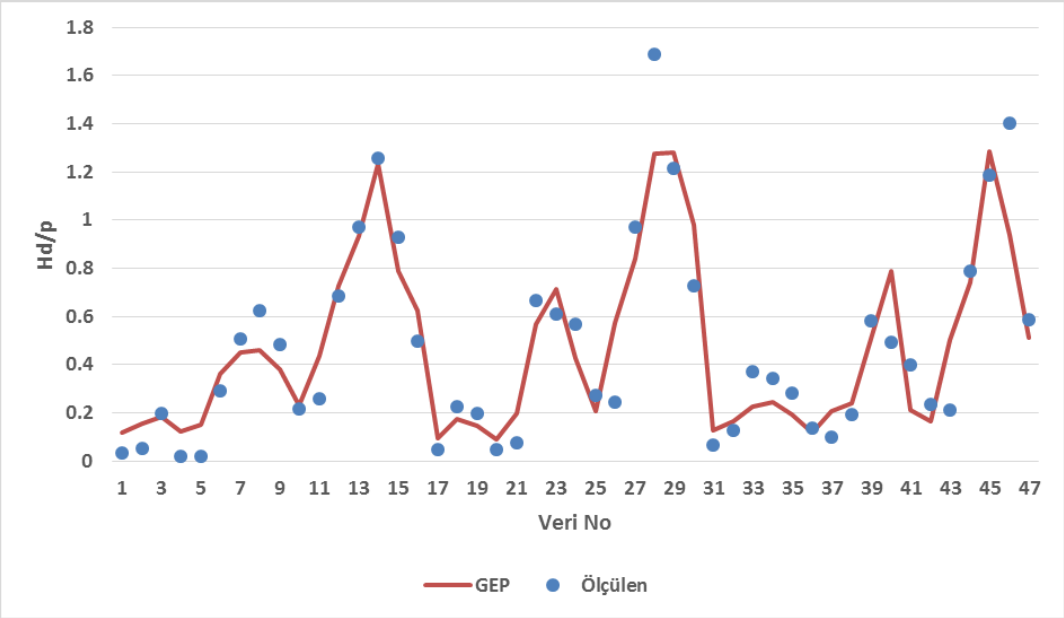


Şekil 4.2a. Model-1'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

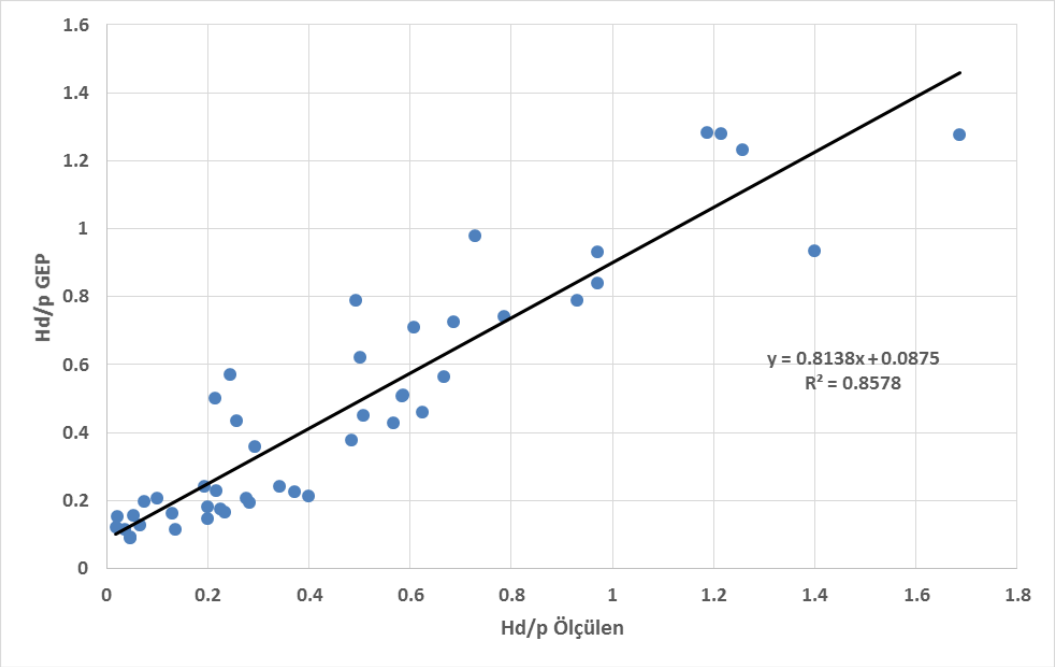


Şekil 4.2b. Model-1'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

Test verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b'de verilmiştir.



Şekil 4.3a. Model-1'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.3b. Model-1'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

Model-1'e ait yukarıdaki grafikler, R^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde modelin güvenilir olduğu ve iyi bir performans gösterdiği açıkça görülmektedir.

Şekil 4.2a ve Şekil 4.2b'de görüldüğü gibi GEP modeline ait değerler ile fiziki modelde ölçülen gerçek değerlerin grafiklerinin benzerlik gösterdiği görülmüş ve grafikler arasında ciddi bir sapma görülmemiştir. Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b'de test verilerine ait grafiklerin eğitim veri grafikleri ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu durum da modelin düzgün çalıştığını göstermektedir.

Regresyon analizi yönteminde kullanılan determinasyon katsayısı yani R^2; 0 ile 1 arasında bir sonuç vermektedir. R^2'nin 0.8'den büyük çıkması modelin güvenilir bir model olduğunu gösterirken, R^2 1'e yaklaştıkça modelin doğruluğu artar. RMSE değeri ise Ortalama Karesel Hataların Kökü olarak ifade edilebilir. RMSE değeri GEP modelinde elde edilen değerlerle fiziki modelde ölçülen değerlerin ortalama farkını ortaya koyar. RMSE değerinin düşük çıkması modelin doğruluğu hakkında fikir verir. Model-1'de yapılan hesaplamalar sonucunda eğitim verilerine ait R^2=0.864 ve RMSE=0.145 olarak, test verilerine ait R^2=0.858 ve RMSE=0.153 olarak bulunmuştur. Burada eğitim verilerine ait R^2 değerinin yüksek RMSE değerinin ise düşük çıkması modelin doğru çalıştığını gösterir. Test verilerine ait R^2 ve RMSE değerlerindeki kısmi farklılık model oluşturulurken kullanılan veri sayısından kaynaklanmakta olup test ve eğitim verilerinin yakın çıkması modelin iyi bir performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Model-2

Genetik İfadeli Programlama yöntemi ile elde edilen Model-2 için ifade ağacı (ET) Şekil 4.4'deki gibi elde edilmiştir. Bu ifade ağacı ile GEP formülü elde edilmiştir. Elde edilen GEP formülü şu şekildedir.

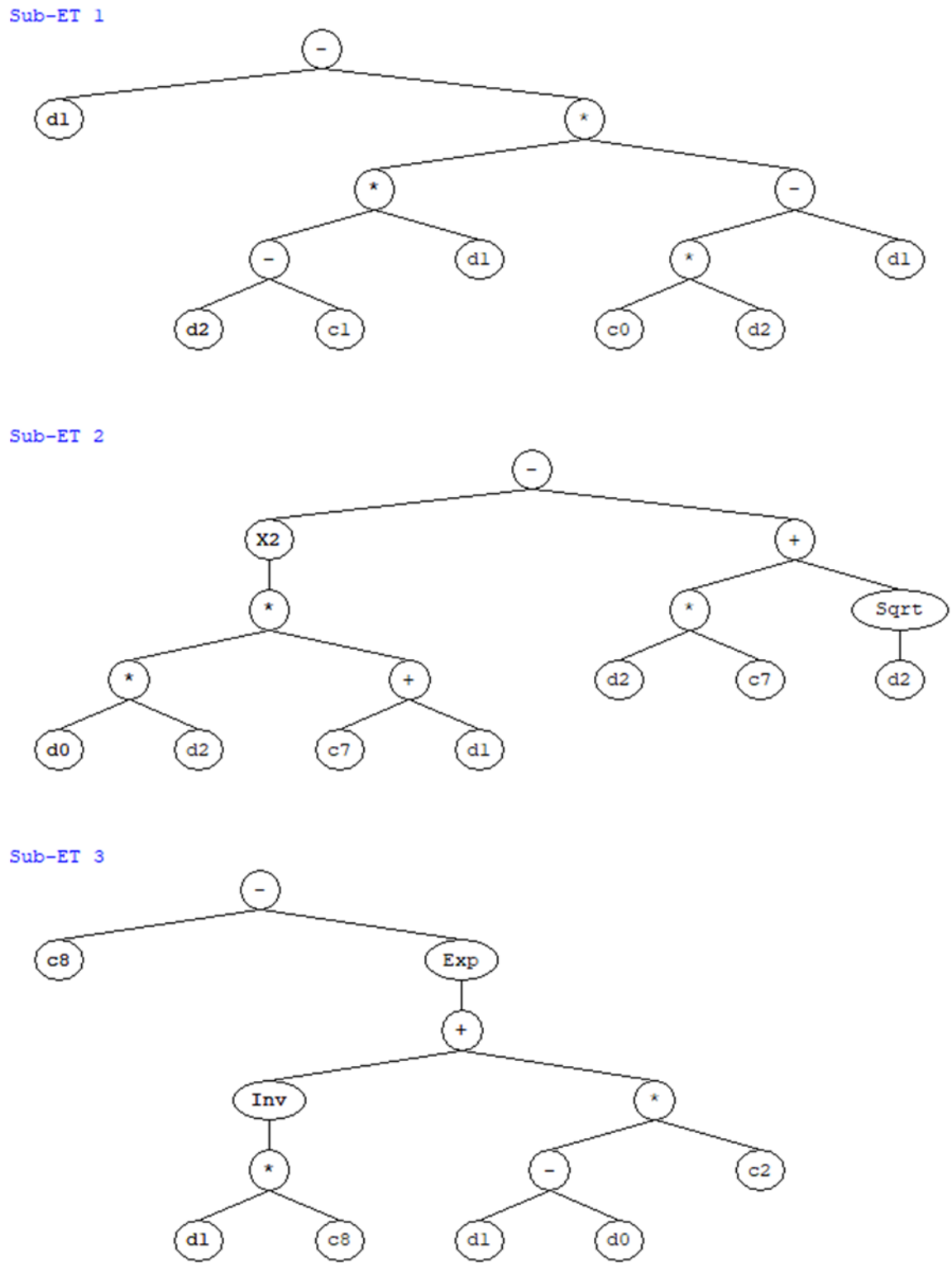
```
y = (d[1]-(((d[2]-G1C1)*d[1])*((G1C0*d[2])-d[1])))
    *(pow(((d[0]*d[2])*(G2C7+d[1])),2)-((d[2]*G2C7)+sqrt(d[2])))
    *(G3C8-exp(((1.0/((d[1]*G3C8)))+((d[1]-d[0])*G3C2))))          4.7
```

Formülde bulunan sabitlerin değeri G1C1=5.51, G1C0=-13.49, G2C7=10.19, G3C8=2.22, G3C2=7.30'dir. Çıktı verimiz y=Hd/p olmak üzere d[0]=V/Vkr, d[1]=(h1-p)/h1 ve d[2]=d50/p'dir. Burada V/Vkr: Yan savağı memba ve mansabında bulunan ana kanaldaki ortalama hızın, tane hareketi yani oyulma başlama anındaki kritik hıza oranı(Rölatif akım hızı), (h1-p)/h1: rölatif yan savak kret yüksekliği, d50/p: Taban malzemesi dane çapı, çıkış verisi olarak elde edilen Hd/p ise rölatif denge oyulma derinliğini verir. İlgili sabitler, değişkenler ve çıktı verisi formülde yerine yerleştirildikten sonra:

$$\boldsymbol{Hd/p = \Big((h_1 - p)/h_1 - \Big(\big((h_1 - p)/h_1 * (d_{50}/p - 5.51)\big) * \big((13.49 * d_{50}/p) - (h_1 - p)/h_1\big)\Big)\Big) * \Big(\big((V/V_{kr} * d_{50}/p) * (10.19 + (h_1 - p)/h_1)\big)^2 - \Big((d_{50}/p * 10.19) + \sqrt{d_{50}/p}\Big)\Big) * \Big(2.22 - e^{\left(((h_1-p)/h_1 * 2.22)^1 + \left(((h_1-p)/h_1 - V/V_{kr}) * 7.30\right)\right)}\Big)} \quad 4.8$$

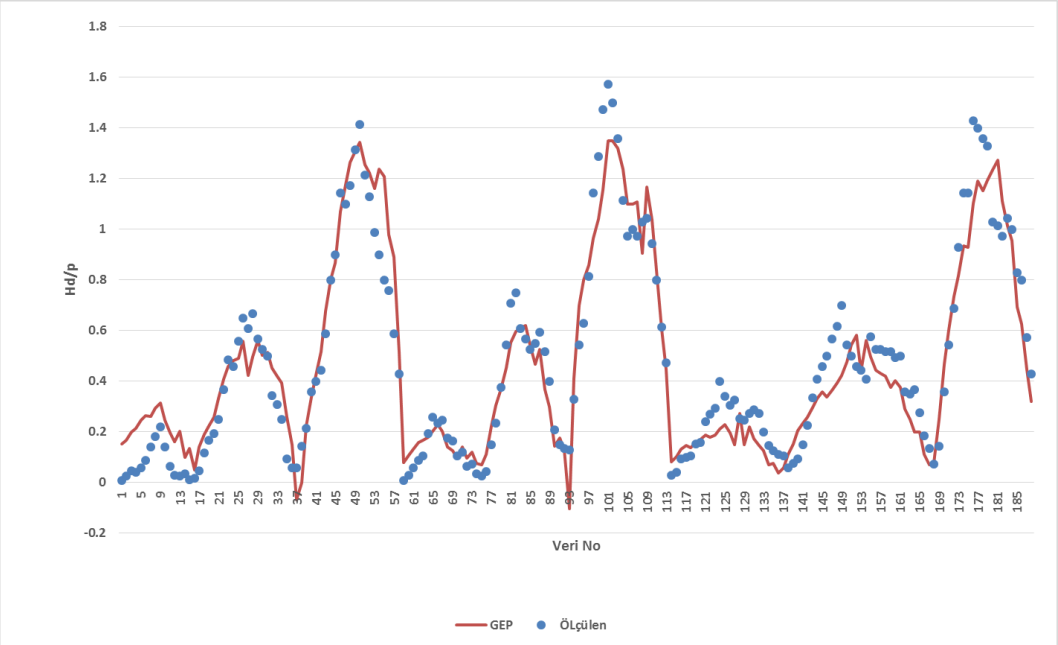
Şeklinde elde edilir.

Model-2'de yapılan hesaplamalar sonucunda eğitim verilerine ait R^2=0.903 ve RMSE=0.123 olarak, test verilerine ait R^2=0.892 ve RMSE=0.133 olarak bulunmuştur.

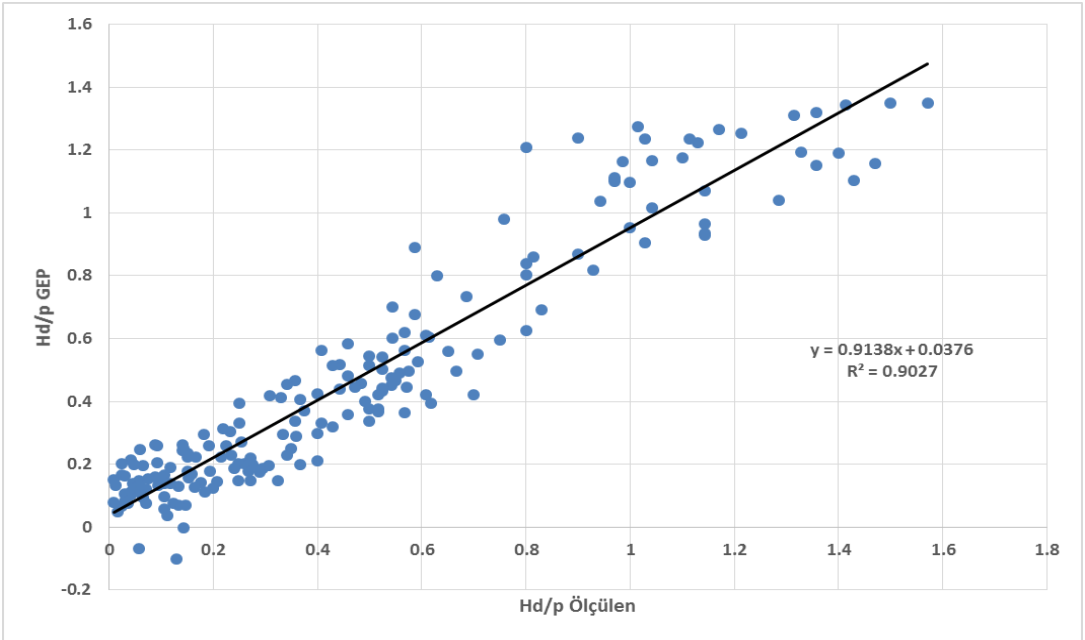


Şekil 4.4. GEP Formülü İçin Model-2 İfade Ağacı (ET)

Eğitim verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b'de verilmiştir.

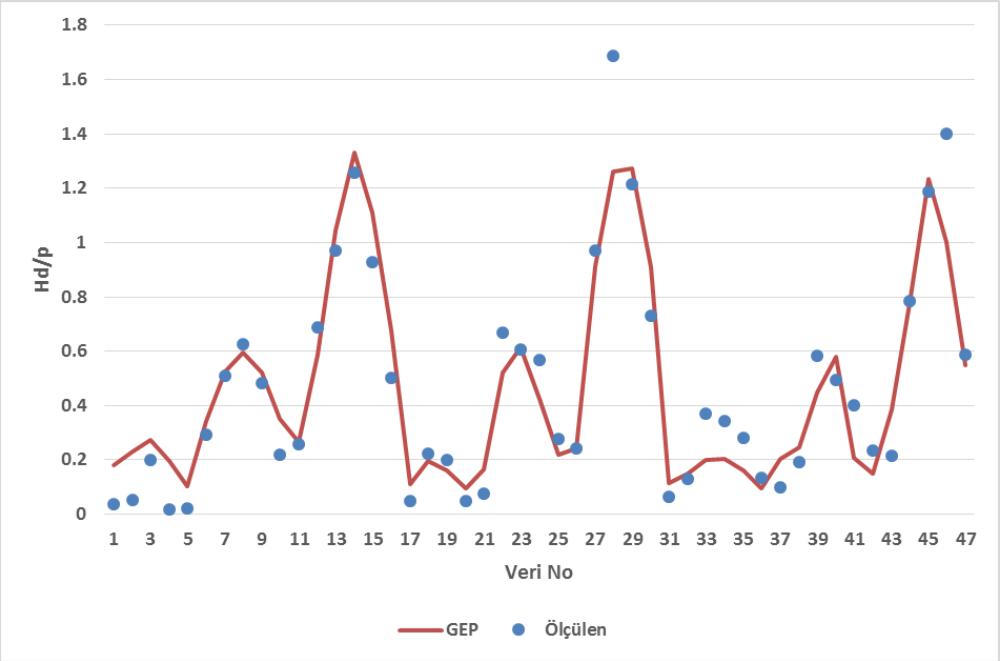


Şekil 4.5a. Model-2'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

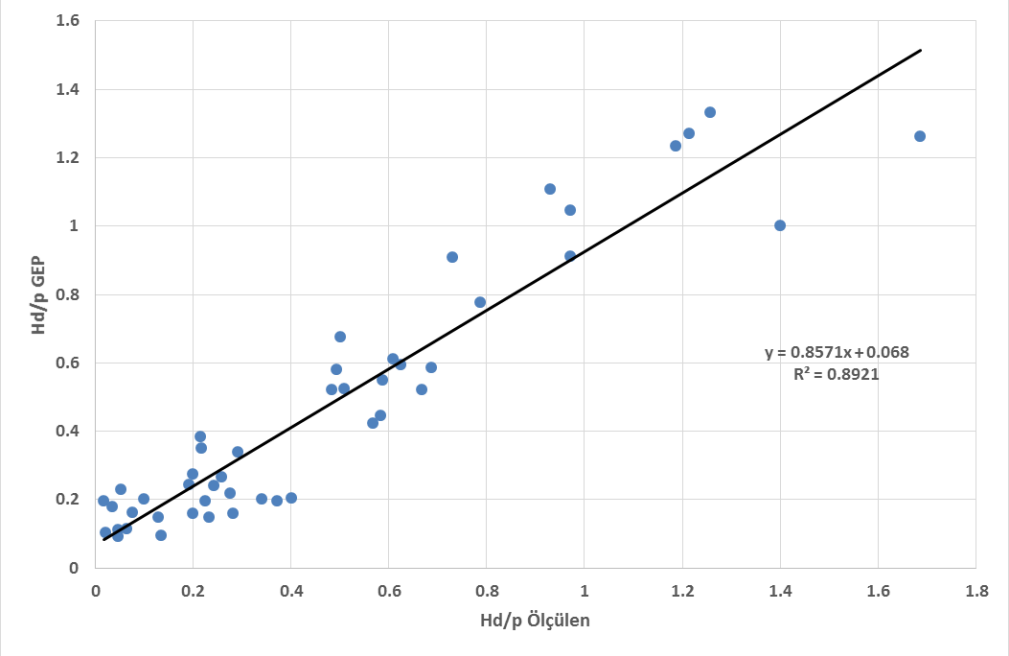


Şekil 4.5b. Model-2'in eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

Test verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b'de verilmiştir.



Şekil 4.6a. Model-2'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.6b. Model-2'in test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

Model-2'e ait yukarıdaki grafikler, R^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde modelin güvenilir olduğu ve iyi bir performans gösterdiği açıkça görülecektir.

Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b'de görüldüğü gibi GEP modeline ait değerler ile fiziki modelde ölçülen gerçek değerlerin grafiklerinin benzerlik göstermekte olduğu anlaşılmış ve grafikler arasında ciddi bir sapma görülmemiştir. Şekil 4.6a ve Şekil 4.6b'de test verilerine ait grafiklerin eğitim verileri grafikleri ile benzerlik gösterdiği okunmaktadır. Bu durum da modelin düzgün çalıştığını göstermektedir.

Model-2'de yapılan hesaplamalar sonucunda eğitim verilerine ait R^2=0.903 ve RMSE=0.123 olarak, test verilerine ait R^2=0.892 ve RMSE=0.133 olarak bulunmuştur. Burada eğitim verilerine ait R^2 değerinin yüksek RMSE değerinin ise düşük çıkması modelin doğru çalıştığını gösterir. Test verilerine ait R^2 ve RMSE değerlerindeki kısmi farklılık model oluşturulurken kullanılan veri sayısından kaynaklanmakta olup test ve eğitim verilerinin yakın çıkması modelin iyi bir performans gösterdiğini ortaya koyar.

Model-3

Genetik İfadeli Programlama yöntemi ile elde edilen Model-3 için ifade ağacı (ET) Şekil 4.7'deki gibi elde edilmiştir. Bu ifade ağacı ile GEP formülü elde edilmiştir. Elde edilen GEP formülü şu şekildedir.

```
y = ((G1C3-(((1.0/(d[0]))-G1C8)/pow(d[0],3)))-d[2])
    *((sqrt(d[0])*G2C5)*(pow(d[2],2)+(d[2]*d[1])))
    *(pow(d[2],2)*(1.0/((pow((1.0/(d[0])),3)+(d[0]*G3C7)))))        4.9
```

Formülde bulunan sabitlerin değeri G1C3=7.09, G1C8=1.33, G2C5=3.78, G3C7=7.17'dir. Çıktı verimiz y=Hd/p olmak üzere d[0]=V/Vkr, d[1]=L/b ve d[2]=(h1-p)/h1'dir. Burada V/Vkr: Yan savağı memba ve mansabında bulunan ana kanaldaki ortalama hızın, tane hareketi yani oyulma başlama anındaki kritik hıza oranı(Rölatif akım hızı), L/b: Rölatif yan savak uzunluğu (h1-p)/h1: rölatif yan savak kret yüksekliği,

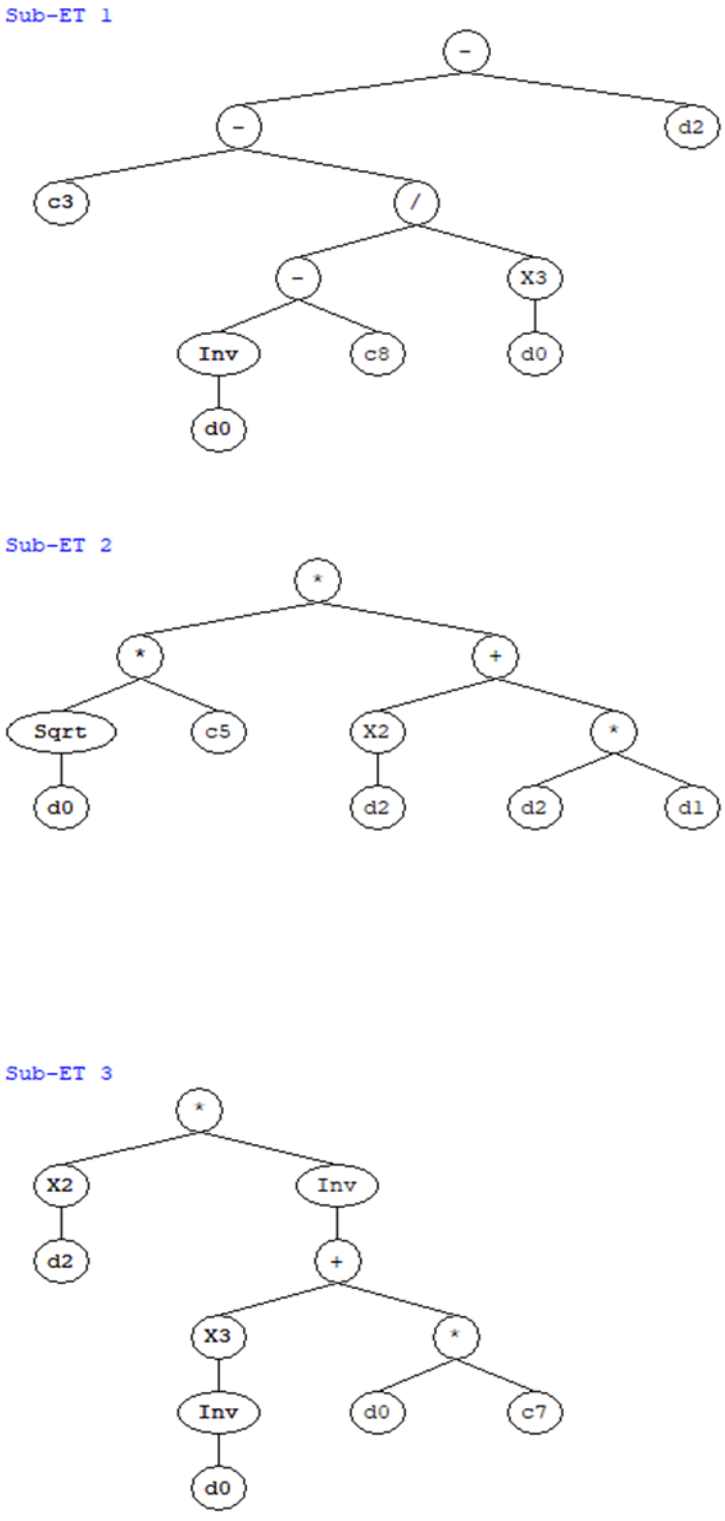
çıkış verisi olarak elde edilen Hd/p ise rölatif denge oyulma derinliğini verir. İlgili sabitler, değişkenler ve çıktı verisi formülde yerine yerleştirildikten sonra:

$$\boldsymbol{Hd/p} = \left(\mathbf{7.09} - \left(\frac{\frac{1}{V/V_{kr}} - \mathbf{1.33}}{(V/V_{kr})^3}\right) - (\boldsymbol{h_1} - \boldsymbol{p})/\boldsymbol{h_1}\right) * (\sqrt{\boldsymbol{V/V_{kr}}} * \mathbf{3.78} * \left((\boldsymbol{h_1} - \boldsymbol{p})/\boldsymbol{h_1}\right)^2 + (\boldsymbol{h_1} - \boldsymbol{p})/\boldsymbol{h_1} * \boldsymbol{L}/\boldsymbol{b}) * \left((\boldsymbol{h_1} - \boldsymbol{p})/\boldsymbol{h_1}\right)^2 * \frac{\mathbf{1}}{\frac{\mathbf{1}}{V/V_{kr})^3 + V/V_{kr} * 7.17}}$$

4.10

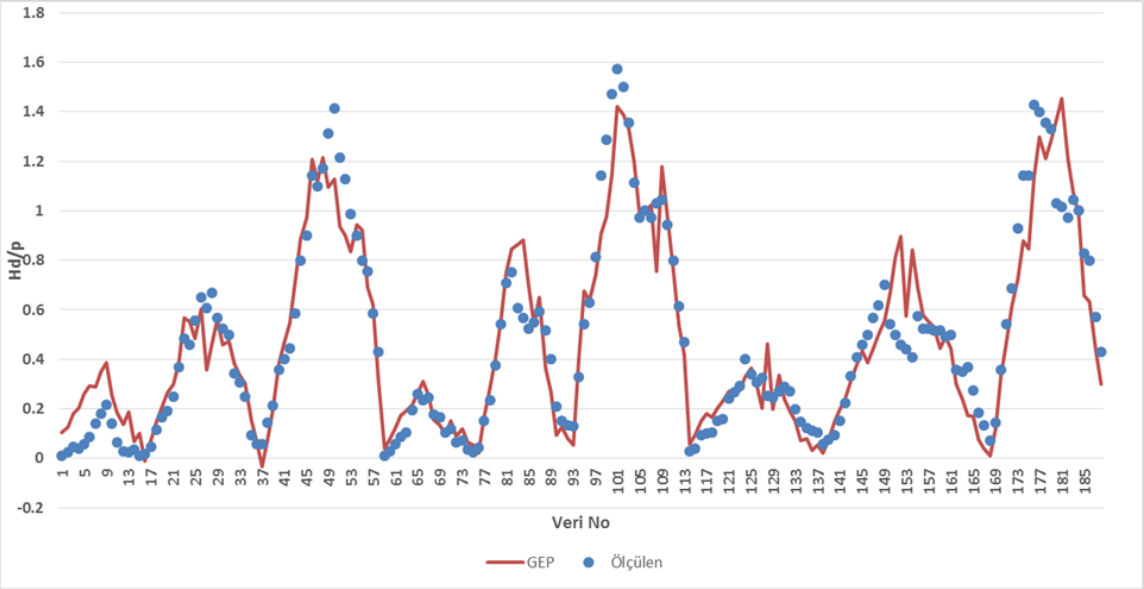
Şeklinde elde edilir.

Model-3'de yapılan hesaplamalar sonucunda eğitim verilerine ait R^2=0.890 ve RMSE=0.130 olarak, test verilerine ait R^2=0.883 ve RMSE=0.138 olarak bulunmuştur.

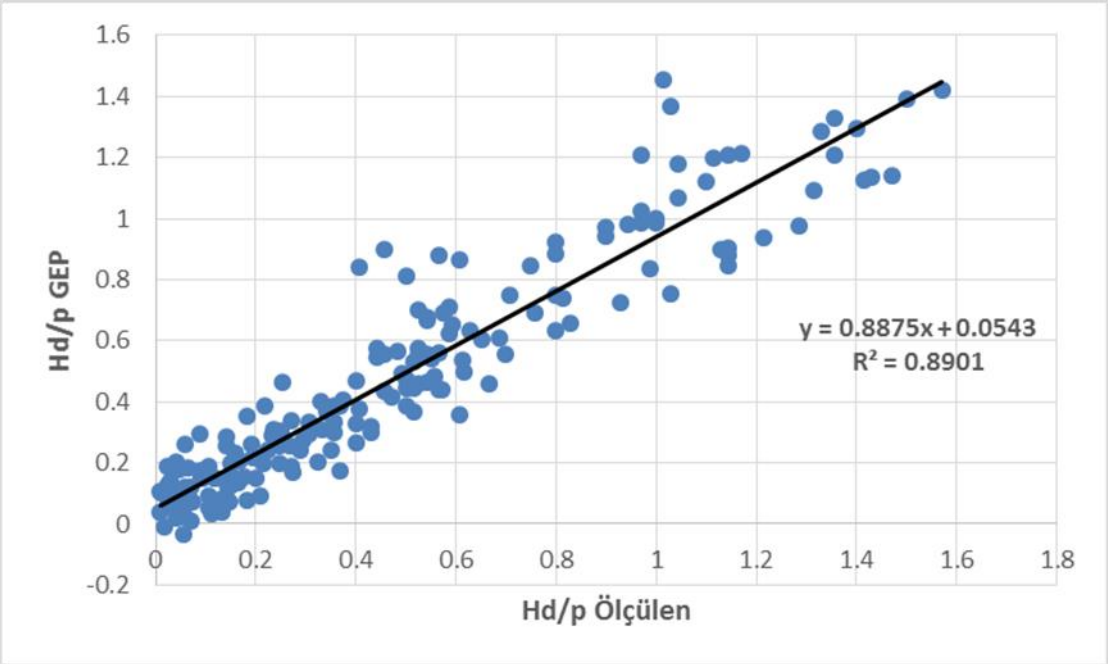


Şekil 4.7. GEP Formülü İçin Model-3 İfade Ağacı (ET)

Eğitim verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.8a ve Şekil 4.8b'de verilmiştir.

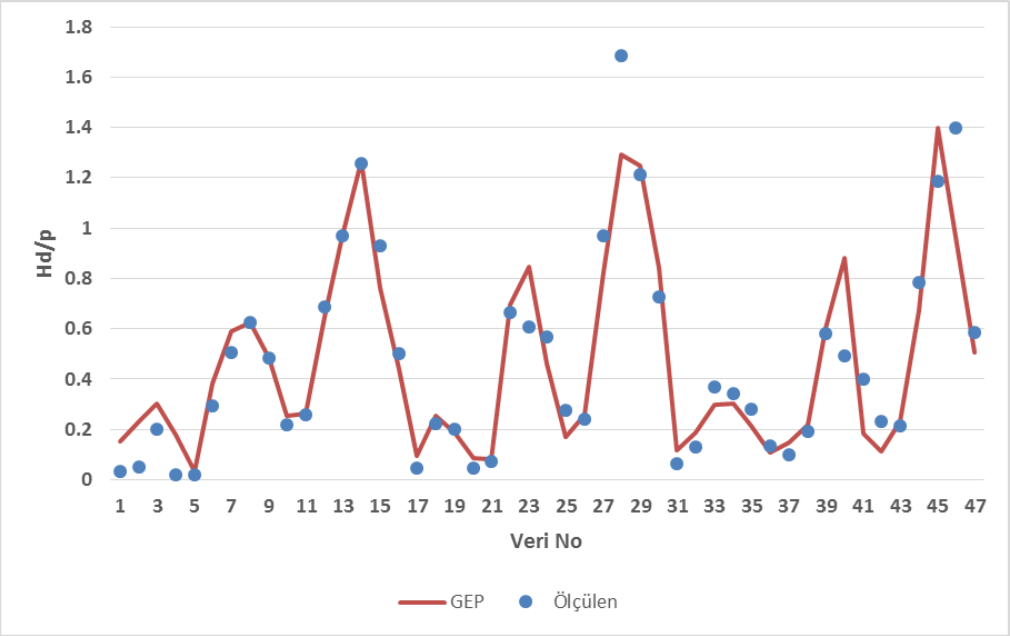


Şekil 4.8a. Model-3'ün eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

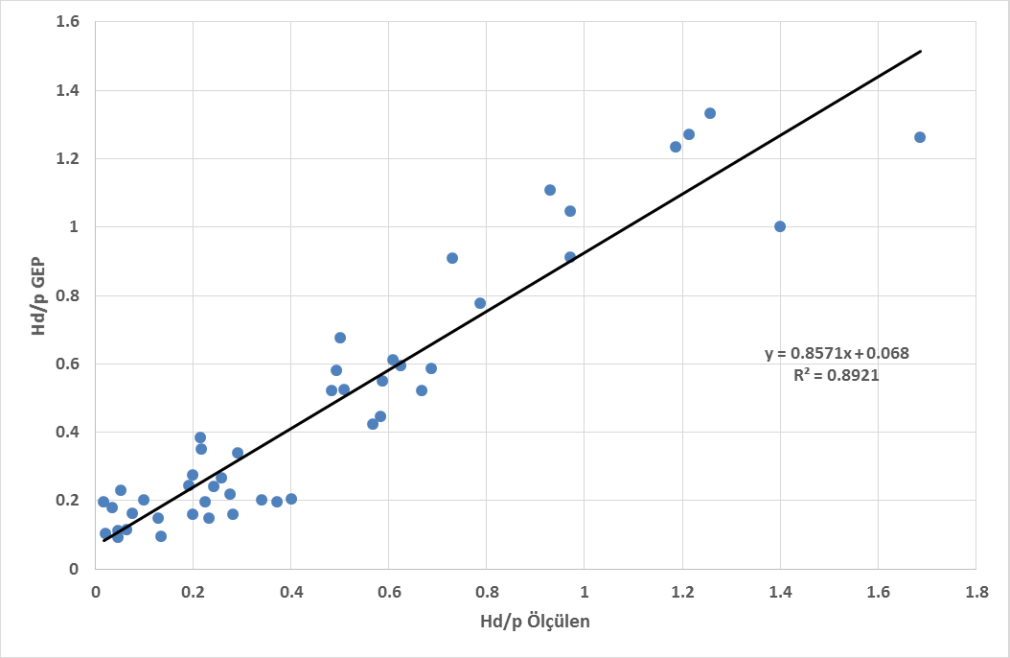


Şekil 4.8b. Model-3'ün eğitim verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

Test verileri için önerilen GEP formülleri referans alınarak ortaya çıkan model verileri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b'de verilmiştir.



Şekil 4.9a. Model-3'ün test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması



Şekil 4.9b. Model-3'ün test verilerinde GEP model değerleri ile fiziki modelde ölçülen değerlerle karşılaştırılması

Model-3'e ait yukarıdaki grafikler, R^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde modelin güvenilir olduğu ve iyi bir performans gösterdiği açıkça görülecektir.

Şekil 4.8a ve Şekil 4.8b'de görüldüğü gibi GEP modeline ait değerler ile fiziki modelde ölçülen gerçek değerlerin grafiklerinin benzerlik göstermekte olduğu anlaşılmış ve grafikler arasında ciddi bir sapma görülmemiştir. Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b'de test verilerine ait grafiklerin eğitim verileri grafikleri ile benzerlik gösterdiği okunmaktadır. Bu durum da modelin düzgün çalıştığını göstermektedir.

Model-3'te yapılan hesaplamalar sonucunda eğitim verilerine ait R^2=0.890 ve RMSE=0.130 olarak, test verilerine ait R^2=0.883 ve RMSE=0.138 olarak bulunmuştur. Burada eğitim verilerine ait R^2 değerinin yüksek RMSE değerinin ise düşük çıkması modelin doğru çalıştığını gösterir. Test verilerine ait R^2 ve RMSE değerlerindeki kısmi farklılık model oluşturulurken kullanılan veri sayısından kaynaklanmakta olup test ve eğitim verilerinin yakın çıkması modelin iyi bir performans gösterdiğini ortaya koyar.

Model-1, Model-2 ve Model 3'ten sonra oluşturulan modellere ait ifade ağacı, GEP formülleri ve benzeşim grafikleri bu çalışma içinde yer almamakta olup tüm modellere ait eğitim ve test verilerine ait R^2 ve RMSE değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.4. GEP yöntemi ile oluşturulan modellere ait R^2 ve RMSE değerleri

Model No	Değişken Tipi	Training Verileri		Test Verileri		Değişken Sayısı
		R^2	RMSE	R^2	RMSE	
Model-1	Hd/p=f(V/Vkr,L/b,(h1-p)/h1,d50/p)	0.864	0.145	0.858	0.153	**4**
Model-2	Hd/p=f(V/Vkr,(h1-p)/h1,d50/p)	0.903	0.123	0.892	0.133	**3**
Model-3	Hd/p=f(V/Vkr,L/b,(h1-p)/h1)	0.890	0.130	0.883	0.138	
Model-4	Hd/p=f(L/b,(h1-p)/h1,d50/p)	0.845	0.155	0.830	0.167	
Model-5	Hd/p=f(V/Vkr,L/b,d50/p)	0.727	0.209	0.673	0.234	
Model-6	Hd/p=f(V/Vkr,(h1-p)/h1)	0.852	0.152	0.819	0.172	**2**
Model-7	Hd/p=f(L/b,(h1-p)/h1)	0.847	0.154	0.833	0.165	
Model-8	Hd/p=f((h1-p)/h1,d50/p)	0.765	0.191	0.740	0.205	

Çizelge 4.4'te model tahminleri ve deneysel veriler arasında çoğu model için tatmin edici bir uyum gözlemlenmiştir. Tabloda da görüleceği gibi çıkış verisi Hd/p sabit kalmak üzere modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin sayısı ve tipi her bir modelde farklılık göstermiştir. Bu sayede değişkenlerin sayısı ve tipinin, modelin performansını belirleyen Belirleme Determinasyon Katsayısı (R^2) ve Ortalama Karesel Hata Kökü (RMSE) üzerinde nasıl etki gösterdiği saptanabilmiştir. Öncelikle bağımsız değişken sayısının azaldıkça model performansının düşüşü genel olarak görülmüştür. Bazı değişkenlerin model doğruluğu üzerinde etkisinin yüksek olduğu, diğer değişkenlerin ise daha az etkili olduğu görülmüştür.

Model-2 (R^2=0.903 ve RMSE=0.123) ve Model-5 (R^2=0.727 ve RMSE=0.209)'e ait sonuçlar karşılaştırıldığında H_d/p'nin belirlenmesinde $(h_1-p)/h_1$ değişkenin oldukça etkili olduğu görülmüştür. Model-4 (R^2=0.845 ve RMSE=0.155) ve Model-3 (R^2=0.890 ve RMSE=0.130)'e ait sonuçlar karşılaştırıldığında ise V/V_{kr} değişkeninin de oyulma derinliği belirlenmesinde oldukça etkili olduğu görülmüştür.

Programlama sonucunda elde edilen sekiz modele ait sonuçlar incelendiğinde V/V_{kr} ve $(h_1-p)/h_1$ değişkenlerinin oyulma derinliği belirlenmesinde etkili, d_{50}/p ve L/b değişkenlerinin ise daha az etkili olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı hidrolik yapıların tasarımında ve işletme aşamasında karşılaşılan ana problemlerden olan taban oyulmasının hareketli taban ve yan savak özelinde araştırılması, matematiksel olarak modellenmesi ve Genetik İfadeli Programlama yöntemi ile hesaplanan modellerin kullanılabilirliği, doğruluğu ve performansının ortaya konmasıdır.

Bu tez çalışmasında modeller oluşturulurken bağımsız boyutsuz değişkenler rölatif akım hızı (V/V_{kr}), boyutsuz yan savak uzunluğu (L/b), rölatif yan savak kret yüksekliği ($(h_1-p)/h_1$) ve taban malzemesi dane çapı (d_{50}/p) kullanılarak çıkış verisi rölatif denge oyulma derinliği(H_d/p) elde edilmiştir. Oluşturulan 8 GEP modelinden Model-1, Model-2ve Model-3'e ait formülasyonlar ve ifade ağaçları çalışmada sunulmuş, diğer modellerin de sonuçları verilmiştir. Çalışma sonucunda matematiksel modellemede hesaplanan değerler ile fiziki modelde ölçülen değerler karşılaştırılarak, modelin iyi bir performans gösterdiği belirlenmiş ve hareketli tabanlı akarsularda yan savak civarındaki oyulma derinliklerinin Genetik İfadeli Programlama kullanılarak belirlenebileceği ortaya konulmuştur.

Bağımsız değişken sayısının azaldıkça model performansının düşüşü genel olarak görülmüştür. Bazı değişkenlerin model doğruluğu üzerinde etkisinin yüksek olduğu, diğer değişkenlerin ise daha az etkili olduğu görülmüştür.

2, 3 ve 4 değişkenli matematiksel modellerden elde edilen sonuçlar fiziki modelde ölçülen sonuçlarla regresyon analizi yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen R^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde genel olarak 3 ve 4 değişkenli modellerin iyi performans gösterdiği, 2 değişkenli modellerin ise daha düşük performans gösterdiği görülmüştür. 4 değişkenli Model-1 de R^2=0.864 ve RMSE=0.145 ve 3 değişkenli Model-2 de ise R^2=0.903 ve RMSE=0.123 değerleri elde edilmiştir.

Model-2 (R^2=0.903 ve RMSE=0.123) ve Model-5 (R^2=0.727 ve RMSE=0.209)'e ait sonuçlar karşılaştırıldığında $(h_1-p)/h_1$'in, Model-4(R^2=0.845 ve RMSE=0.155) ve Model-3(R^2=0.890 ve RMSE=0.130)'e ait sonuçlar karşılaştırıldığında ise V/V_{kr}'in rölatif denge oyulma derinliğinin belirlenmesinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca d_{50}/p ve L/b değişkenlerinin ise daha az etkili olduğu görülmüştür.

GEP modellemesinin hidrolik mühendisliğinde daha yaygın ve doğru kullanımı için bu çalışma kohezyonlu zeminlerde, kıvrımlı kanallarda ve farklı savak tipleri için de uygulanabilir.

6. KAYNAKLAR

Ağaççıoğlu, H. 1998. Kıvrımlı kanallarda enine su yüzü eğiminin yan savak debi katsayısına etkisi. İ.M.O Teknik Dergi, 126: 1741-1761.

Ağaççıoğlu, H., Yüksel, Y. 1998. Side-weir flow in curved channel. ***Journal of Irrigation and Drainage Engineering,*** 124(3): 163-175.

Collinge, V.K., 1957. The discharge capacity of side weirs. ***Proc. of The ICE,*** 6:288-304.

De Marchi, G., 1934. Saggio di teoria de funzionamente degli stramazzi laterali. ***L'Energia Elettrica,*** 11: 849-860.

Dilek, Y. 2011. Kohezyonlu malzeme tabanlı akarsulara yerleştirilen yan savak etrafındaki oyulma derinliğinin deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 87.

El-Khashab, A. M. M. 1975. Hydraulics of flow over side-weirs. Doktora Tezi, University of Southampton, England.

Emiroğlu, M. E., Kaya, N.,Öztürk, M. 2007. Investigation of labyrinth side weir flow and scouring at the lateral intake region in a curved channel. ***Engineering Science Research Grant Group,*** TÜBİTAK Proje No: 104M394.

Emiroğlu, M. E., Göğüs, M., Tunç, M., İslamoğlu, K. 2016. Effects of Antivortex Structures Installed on Trapezoidal Labyrinth Side Weirs on Discharge Capacity and Scouring. ***Journal of Irrigation and Drainage Engineering,*** 143(6)

Engels, H., 1920. Mitteilungen aus der dresdener flussbaulaboratorium weiten, 362-365: 387-390.

Ferreira, C. 2001. Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems. ***Complex Systems,*** 13(2): 87-129

Ferreira, C. 2006. Automatically Defined Functions in Gene Expression Programming. ***Studies in Computational Intelligence,*** 13: 21-56

Güven, A., Günal M. 2008. Genetic Programming Approach for Prediction of Local Scour Downstream of Hydraulic Structures. ***Journal Of Irrigation and Drainage Engineering,*** 134(2): 241-249.

May, R. W. P., Bromwich, B. C., Gasowski, Y., Rickard, C. E. 2003. Hydraulic Design of Side Weirs. Thomas Telford Publishing, Sayfa:152, England.

Melville B. W., Chiew Y. M. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. ***Journal of Hydraulic Engineering,*** 125(1): 59-65.

Önen, F. 2005. Hareketli tabanlı akarsularda yanal akımın hidrodinamiğinin incelenmesi. Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 175.

Önen, F., Ağaççıoğlu, H. 2007. Scour at a side-weir intersection located on an alluvial river. ***Hydrology Research,*** 38(2): 165-176.

Önen, F. 2013. GEP prediction of scour around a side weir in curved channel. ***Journal of Environmental Engineering and Landscape Management,*** 22(3): 161-170.

Sykes, A. O. 1993. An Introduction to Regression Analysis. ***Coase-Sandor Working Paper Series in Law and Economics.***

Tsujimoto, T., Mizukami, T. 1985. Effect of migration to local scour araond a bridge pier. ***Memoirs Of The Faculty Of Technology Kanazawa Univercsity,*** 19(1): 23-24.

Tunç, M., Emiroğlu, M. E., 2017. Investigation of live-bed scour at labyrinth side weirs. Fırat University ***Turkish Journal of Science & Technology,*** 13(1): 129-136.

Varol, F. A. 2015. Yan savak akımlarının etkisindeki kohezyonlu taban malzemesinin oyulma probleminin deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 233.

Yanmaz, A.M. 2002. Köprü Hidroliği. ÖDTÜ Geliştirme Vakfı Yayınları, Sayfa:384. Ankara.

Yüksel, Y. 2000. Teori Ve Çözümlü Problemler İle Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği Ve Hidrolik. Beta Basım A.Ş, Sayfa:1003. İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Hayrettin KAYA 1991'de Batman'da doğdu. İlköğretimini Batman'da tamamladıktan sonra Batman Fen Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılından beri Devlet Su İşleri 10. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı 104. Şube Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak görev almaktadır.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ TEZ
İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Hayrettin KAYA
ÖĞRENCİ NO	16806007
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Hareketli Tabanlı Akarsularda Yan Savak Civarındaki Oyulma Derinliklerinin Genetik İfadeli Programlama İle Belirlenmesi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	79
BENZERLİK ORANI	%18
RAPORLAMA TARİHİ	25/06/ 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 79 sayfalık kısmına ilişkin, 25/06/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 18 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Hayrettin KAYA

25/06/2019

Doç. Dr. Feyzi ÖNEN **Tez Danışmanı** 25.06.2019	Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK **Anabilim Dalı Başkanı** 25.06.2019

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.