

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**YANAL DEBİ KATKISINI İÇEREN DOĞRUSAL OLMAYAN  
YENİ BİR MUSKINGUM MODELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**VOLKAN HELVA**

**DENİZLİ, KASIM - 2017**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**YANAL DEBİ KATKISINI İÇEREN DOĞRUSAL OLMAYAN  
YENİ BİR MUSKINGUM MODELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**VOLKAN HELVA**

**DENİZLİ, KASIM - 2017**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**VOLKAN HELVA** tarafından hazırlanan “**YANAL DEBİ KATKISINI İÇEREN DOĞRUSAL OLMAYAN YENİ BİR MUSKİNGUM MODELİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20.11.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Gürhan GÜRARSLAN  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Prof. Dr. Mustafa Tamer AYVAZ  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Yrd. Doç. Dr. Aslı ÜLKE  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13.12.2017 tarih ve 49/10-c sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**



**VOLKAN HELVA**

## ÖZET

**YANAL DEBİ KATKISINI İÇEREN DOĞRUSAL OLMAYAN YENİ BİR  
MUSKINGUM MODELİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
VOLKAN HELVA  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. GÜRHAN GÜRARSLAN)**

**DENİZLİ, KASIM - 2017**

Bu çalışmada hidrolojik taşkın öteleme yöntemlerinden biri olan ve literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan Muskingum modeli kullanılmıştır. Muskingum modelinin birçok türü literatürde mevcut olup, bu tez kapsamında yanal debiyi hesaplamalara dahil eden doğrusal olmayan yeni bir Muskingum modeli önerilmiştir. Daha önceki çalışmalarda yanal debi etkisinin genellikle ihmal edilmesinden dolayı model sonuçlarının yeteri kadar iyi olmadığı göze çarpmaktadır. Tez kapsamında önerilen bu modelin sonuçları literatürde mevcut olan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar Wilson, Wye, Wyre ve Viessman-Lewis veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen model ile literatürdeki en iyi çözüm karşılaştırıldığında, Wilson verisi için %72.7, Wye verisi için %55.6, Wyre verisi için %60.3 ve Viessman-Lewis verisi için %58.8 oranında bir iyileşme sağlandığı görülmüştür. Önerilen modelin parametrelerinin belirlenmesinde guguk kuşu araştırma algoritması kullanılmıştır. Guguk kuşu araştırma algoritmasının performansı çeşitli kısıtlı ve kısıtsız test fonksiyonları üzerinde test edilmiştir ve sonuçları ekler bölümünde sunulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Taşkın öteleme, hidrolojik modelleme, Muskingum yöntemi, optimizasyon, guguk kuşu algoritması

## **ABSTRACT**

### **A NEW NONLINEAR MUSKINGUM MODEL CONSIDERING LATERAL FLOW CONTRIBUTION**

**MSC THESIS**

**VOLKAN HELVA**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. GURHAN GURARSLAN)**

**DENİZLİ, NOVEMBER 2017**

In this study, Muskingum model used which is one of hydrological flood routing method and widely using in literature. Many types of Muskingum models exist in the literature, and a new nonlinear Muskingum model has been proposed which is include to lateral flow contribution in calculations within the scope of this thesis. Previous studies have shown that the model results are not as good as the lateral flow effect is neglected. The results of proposed model compared with the results of the studies in the literature. Comparisons were performed on Wilson, Wye, Wye and Viessman-Lewis's data sets. Compared the proposed model's results with the best solution in the literature was found to be an improvement of %72.7 for Wilson data, 55.6% for Wye data, 60.3% for Wyre data and 58.8% for Viessman-Lewis data. The cuckoo research algorithm is used to identified the parameters of the proposed model. The performance of the cuckoo research algorithm has been tested on various constrained and unconstrained test functions and the results are presented in the appendix.

**KEYWORDS:** Flood routing, hydrological modeling, Muskingum method, optimization, Cuckoo search algorithm

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Genel .....	1
1.2 Amaç .....	2
1.3 Kapsam .....	2
1.4 Literatür Özeti .....	2
<b>2. TAŞKIN ÖTELEME YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>11</b>
2.1 Hidrolik Yöntemler .....	11
2.1.1 Kinematik Dalga Yöntemi .....	12
2.1.2 Difüzyon Dalga Yöntemi .....	13
2.2 Hidrolojik Yöntemler .....	14
2.2.1 Muskingum Yöntemi .....	15
2.2.2 Muskingum-Cunge Yöntemi .....	17
<b>3. DOĞRUSAL OLMAYAN MUSKİNGUM MODELLERİ</b> .....	<b>19</b>
3.1 Sabit parametrelili Muskingum modelleri .....	19
3.1.1 Üç sabit parametreye sahip Muskingum modeli: .....	19
3.1.2 Dört sabit parametreye sahip Muskingum modeli .....	20
3.1.3 Beş sabit parametreye sahip Muskingum modeli .....	21
3.1.4 Altı sabit parametreye sahip Muskingum modeli .....	21
3.1.5 Yedi sabit parametreye sahip Muskingum modeli .....	21
3.2 Değişken parametrelili Muskingum modelleri: .....	22
3.3 Tez Kapsamında Önerilen Model.....	22
<b>4. GUGUK KUŞU ARAŞTIRMA ALGORİTMASI</b> .....	<b>26</b>
4.1 Guguk Kuşu Algoritması.....	26
4.2 Guguk Kuşu Algoritmasının Çalışmaya Uyarlanması .....	28
<b>5. SAYISAL UYGULAMALAR</b> .....	<b>32</b>
5.1 Birinci Uygulama .....	32
5.2 İkinci Uygulama .....	38
5.3 Üçüncü Uygulama .....	42
5.4 Dördüncü Uygulama .....	46
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>51</b>
<b>7. KAYNAKLAR</b> .....	<b>52</b>
<b>8. EKLER</b> .....	<b>60</b>
EK A Optimizasyon Modelinin Testi .....	60
EK A.1 Kısıtsız 1.Test Fonksiyonu .....	60
EK A.2 Kısıtsız 2.Test Fonksiyonu .....	61
EK A.3 Kısıtsız 3.Test Fonksiyonu .....	62

EK A.4 Kısıtsız 4. Test Fonksiyonu .....	63
EK A.5 Kısıtsız 5. Test Fonksiyonu .....	64
EK A.6 Kısıtlı 1. Test Fonksiyonu .....	65
EK A.7 Kısıtlı 2. Test Fonksiyonu .....	66
EK A.8 Kısıtlı 3. Test Fonksiyonu .....	67
EK A.9 Kısıtlı 4. Test Fonksiyonu .....	68
EK A.10 Kısıtlı 5. Test Fonksiyonu .....	69
<b>9. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>71</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Kama ve prizmatik depolama (Linsley ve diğ., 1982).....	16
Şekil 5.1: Wilson taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları .....	37
Şekil 5.2: Wilson veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi .....	37
Şekil 5.3: Wye taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları .....	41
Şekil 5.4: Wye veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi .....	42
Şekil 5.5: Wyre taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları.....	45
Şekil 5.6: Wyre veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi .....	46
Şekil 5.7: Viessman ve Lewis taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları.....	49
Şekil 5.8: Viessman ve Lewis veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi .....	50
Şekil A.1: Kısıtsız 1.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	61
Şekil A.2: Kısıtsız 2.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	62
Şekil A.3: Kısıtsız 3.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	63
Şekil A.4: Kısıtsız 4.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	64
Şekil A.5: Kısıtsız 5.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	65
Şekil A.6: Kısıtlı 1.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	66
Şekil A.7: Kısıtlı 2.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	67
Şekil A.8: Kısıtlı 3.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	68
Şekil A.9: Kısıtlı 4.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	69
Şekil A.10: Kısıtlı 5.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi .....	70

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 5.1: Wilson veri seti için yapılan denemeler.....	34
Tablo 5.2: Wilson taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri.....	35
Tablo 5.3: Wilson taşkın verisi çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması .....	36
Tablo 5.4: Wye veri seti için yapılan denemeler.....	39
Tablo 5.5: Wye taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri.....	40
Tablo 5.6: Wye taşkın verisi çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması .....	41
Tablo 5.7: Wyre veri seti için yapılan denemeler .....	43
Tablo 5.8: Wyre taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri .....	44
Tablo 5.9: Wyre taşkın verisi çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması .....	45
Tablo 5.10: Viessman ve Lewis veri seti için yapılan denemeler.....	47
Tablo 5.11: Viessman ve Lewis taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri.....	48
Tablo 5.12: Viessman ve Lewis çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması .....	48

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, manevi desteğini esirgemeyen, bilgi seviyemi sürekli olarak üst seviyeye taşıyan danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. Gürhan GÜRARSLAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecinde desteklerini esirgemeyen arkadaşlarımdan her birine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu süreçte her zaman destek olan sevgili eşim İmren CERİT HELVA'ya ve aileme şükranlarımı sunarım. Bu çalışmamı sevgili kızım DENİZ'e adıyorum.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Genel

Taşkın kavramı akarsularda zaman içinde değişiklik gösteren su seviyesinin ve debinin yüksek olduğu dönemlerde oluşan akımın akarsu yatağına taşması olayıdır. Taşkın olayı sonucunda can ve mal kayıpları yaşanabilmektedir. Taşkın sebebiyle oluşan zararları önlemek için yapılan araştırma ve çalışmalara ise taşkın yönetimi olarak ifade edilmektedir. Taşkın kontrolü için taşkın özelliklerinin iyi bilinmesi, iyi bir şekilde tanımlanması ve problemin matematiksel olarak modellenerek gerçeğe en yakın şekilde çözümlenmesi gerekmektedir.

Taşkın öteleme problemlerinin çözümünde iki yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Biri hidrolik yöntemler diğeri ise hidrolojik yöntemlerdir. Hidrolik yöntemler tam dinamik, difüzyon ve kinematik dalga yöntemidir. Bir başka yarı hidrolik ve hidrolojik yöntem daha mevcuttur. Bu yöntem Muskingum-Cunge yöntemidir. Hidrolojik yöntemlerin en yaygın olarak kullanılanı ise Muskingum modelidir. Muskingum modeli doğrusal ve doğrusal olmayan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Buna ek olarak Muskingum modelleri yanal debi etkisini dikkate alan ve dikkate almayan olarak sınıflandırılabilir. Muskingum yöntemi temel olarak süreklilik denkleminde elde edilen depolama denkleminde dayanmaktadır. Literatürde ise bu denklem farklı şekilde kullanılmıştır. Araştırmacılar tarafından daha iyi çözüm elde etmek amacıyla farklı Muskingum modelleri önerilmiş ve bu modeller optimizasyon teknikleriyle çözülmüştür. Muskingum modelleri içerisinde en güncel ve etkili çözümü sunan yanal debi katkısı dahil edilen çözüm olmuştur. Bu tez çalışmasında yanal debi etkisini dikkate alan yeni bir Muskingum modeli önerilmiştir. Önerilen modelin parametrelerinin belirlenmesinde guguk kuşu araştırma algoritması kullanılmıştır. Guguk kuşu araştırma algoritmasının performansı çeşitli kısıtlı ve kısıtsız test fonksiyonları üzerinde test edilmiştir ve sonuçları ekler bölümünde sunulmuştur.

Model literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan veri setleri olan Wilson, Wye, Wyre ve Viessman ve Lewis üzerinde gerçekleştirilmiştir.

## **1.2 Amaç**

Su kaynakları mühendisliğinde pratik problemlerden en zorlu olanlarından birisi belirli bir giriş hidrografi verisinden çıkış hidrografını tahmin etmektir. Tahmin amaçlı oluşturulan ilk hidrolojik model Muskingum modelidir. Muskingum modelinin üstüne günümüze kadar birçok çalışma, araştırma ve değerlendirme yapılmış olup halen yeni fikirler üretilmekte ve güncel modeller geliştirilmektedir. Hidrolojik taşkın öteleme yöntemlerinden biri olan Muskingum yöntemi pratik olması ve hızlı çözüm vermesi sebebiyle tez çalışması kapsamında seçilmiştir. Bu çalışmanın esas amacı yanal debiyi dikkate alan bir Muskingum modelini geliştirmektir.

## **1.3 Kapsam**

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde hidrolik ve hidrolojik taşkın öteleme yöntemleri tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde literatürde mevcut olan Muskingum modelleri ve tez kapsamında önerilen model tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde Muskingum model parametrelerinin kalibrasyonunda kullanılan guguk kuşu araştırma algoritması tanıtılmıştır. Beşinci bölümde az ya da çok yanal debi katkısını içeren dört farklı veri seti önerilen model ile çözülmüş ve sonuçlar literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu veri setlerinden elde edilen sonuçlar bölüm altında özetlenmiştir.

## **1.4 Literatür Özeti**

Gill (1978) çalışmasında doğrusal Muskingum denklemindeki parametreler en küçük kareler yöntemini kullanarak belirlemiştir. Doğrusal olmayan taşkın öteleme için bölümlü eğri yöntemi denilen başka bir basit yöntem

önerilmiştir. Bu yöntem doğrusal Muskingum yönteminde gerekenden biraz daha fazla iş yükü içermektedir ve doğrusal olmayan problemlerde uygun olmadığını ifade edilmiştir.

Tung (1985) çalışmasında doğrusal olmayan Muskingum modelini durum değişkeni modelleme tekniğini kullanılarak çözmüştür. Model parametrelerinin kalibrasyonu için çeşitli eğri uydurma teknikleri kullanmış ve model içindeki performansları karşılaştırmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan modeller depolama ve debi arasında doğrusal olmayan ilişkiyi bir örneğe uygulamıştır. Sonuç olarak doğrusal olmayan Muskingum modelinin doğrusaldan daha üstün olduğunu göstermiştir.

O'Donnell (1985) Muskingum taşkın öteleme denklemindeki katsayıların doğrudan tahminlerini veren etkin bir analiz yöntemi sunmuştur. Basit ve kavramsal yanal akış modelini önermiştir. Muskingum yönteminde yer alan standart depolama ve ağırlık parametrelerine ek olarak bir yanal giriş parametresi ile genişletilmiş yeni bir Muskingum yöntemini sunmuştur. Literatürde var olan birkaç taşkın verisine başarıyla uygulamış ve daha ileri çalışmalar için önerilerini sunmuştur.

Mohan (1997) çalışmasında farklı iki doğrusal olmayan Muskingum öteleme modelinin parametrelerini tahmin etmek amacıyla genetik algoritma yaklaşımı önermiştir. Bu algoritmanın performansı diğer literatürde sunulan parametre tahmin teknikleriyle karşılaştırmıştır. Önerdiği yaklaşımın bir örneğe uygulanmasının sonuçları olarak, depolama ve giriş ve çıkış hidrograf değerlerinin arasındaki doğrusal olmayan ilişkiden dolayı genetik algoritma yaklaşımının doğrusal olmayan taşkın öteleme modellerinin parametrelerini tahmin etmede etkili olduğunu göstermiştir. Genetik algoritmanın performansı açısından parametrelerin hassaslığının verilen problem için tamamlayıcı ve iyi performans veren bir analiz yöntemi olduğunu belirtmiştir. Buna ek olarak genetik algoritma herhangi bir parametrenin değerlerinin, herhangi bir başlangıç tahmini gerektirmemekte ve bu şekilde geleneksel tahmin yöntemleriyle ilişkili hesaplama süresini önlendiğini belirtmiştir.

Hoon Kim ve diğeri (2001) doğrusal olmayan Muskingum modelinin parametre tahmin problemine yeni geliştirilen armoni arama algoritmasını uygulamıştır. Armoni araştırma algoritmasını doğrusal olmayan Muskingum modelinde kullanılmıştır. Gözlemlenen ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki farklarının karesinin toplamını, gözlemlenen ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki sapmaların mutlak değeri, gözlemlenen ve tahmin edilen çıkışların pik sapmalarını, gözlemlenen ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki tepe zamanı sapmalarını ve genetik algoritma dahil olmak üzere diğer beş yöntemden daha iyi parametre değerleri bulmuşlardır. Armoni araştırma algoritması ayrıca, tasarım parametrelerinin başlangıç değerlerinde bir varsayım gerektirmeyen bir avantaja sahip olduğunu söylemişlerdir.

Das (2004) taşkın öteleme Muskingum modelinin parametre tahmini için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemin taşkın öteleme işlemindeki bütün zaman aşamaları için denklemlerinin en iyi şekilde tahmin edilmesine bağlı olarak çıkış debisinin tahmin hatalarını en aza indirdiklerini belirtmiştir. Model parametrelerinin tahmini için temel eşitliklerini yineleyerek çözen bir algoritma geliştirmiştir.

Al-Humoud ve Esen (2006) çalışmalarında Muskingum parametrelerinin kolayca tahmin edilmesi için iki temel yöntem sunmuşlardır. Birinci yöntem, giriş ve çıkış hidrograflarının kesişim noktasındaki eğimlerinin hesaplanmasını ve ulaşılabilir maksimum depolama alanının hesaplanmasını gerektirmektedir. İkinci yöntem, iki spesifik noktada giriş ve çıkış hidrograflarının hesaplanmasını gerektirmektedir. Üç vaka incelemesi yapılmış olup, ilk yöntemin doğrusal özellik gösteren hidrograflara geleneksel tahmin prosedürleri uygulandığında, türetilenlere kıyasla Muskingum parametreleri için daha iyi sonuçlar elde edildiğini söylemiştir.

Geem (2006) çalışmasında çözüm alanını matematiksel olarak gradyan tabanlı araştırma yapan Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) tekniğini kullanmıştır. Teknik, en az sayıda hesaplama iterasyonlarını kullanarak gözlemlenen ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki farklarının kareleri toplamı baz alınarak incelendiğinde önceki sonuçlara göre daha iyi parametre değerlerini bulmuştur. Duyarlılık analizi, optimal çözüm bulurken bazı parametrelerin

başlangıç değerlerinin kritik olduğunu göstermiştir. Bu gradyan tabanlı teknik başlangıç değeri varsayımlarını kullanmasına ve karmaşık hesaplamalara sahip olmasına rağmen farklı başlangıç değerlerini daha kısa sürede aynı optimal veya optimale yakın çözüme ulaşmaktadır. Buna ek olarak matematiksel teknik, genetik algoritma veya armoni araştırma algoritması gibi sezgisel temele dayanan algoritma parametrelerini gerektirmemektedir.

Chu ve Chang (2009) parçacık sürü optimizasyonu (PSO), doğrusal olmayan Muskingum modeli için parametre tahminine uygulamıştır. PSO'da her parametrenin ayrı ayrı başlangıç tahminine ihtiyaç duymaz. Böylece geleneksel tahmin yöntemlerinde ki gibi başlangıç tahmini yapılmasını gerektirmez ve parametre değerlerinin yerel optimum değeri bulma olasılığını azalttığını belirtmiştir. Simülasyon sonuçları sonrasında önerilen şemanın Muskingum modelinin taşkın öteleme doğruluğunu artırabildiğini göstermişlerdir. Önerilen şemanın Muskingum modelinin parametrelerini tahmin etmek için alternatif bir yol olduğunu göstermek için bir vaka çalışması sunmuşlardır.

Hosseini (2009) çalışmasında, gözlemlenen giriş ve çıkış hidrograflarının mevcut olduğu ve doğrusal olmayan depolama denklemi ilişkisinin olduğu bir nehirde Muskingum taşkın öteleme yapmıştır. Kullanılan yöntem açıktır ve geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi doğruluk sağladığını belirtmiştir. Ayrıca tablolarındaki önerilen hesaplama prosedürünün dallanmış sistemler gibi daha karmaşık nehir sistemlerinde taşkın öteleme işleminin genişletilebileceği de göstermiştir. Esas olarak çalışmanın sonuçlarının kompleks nehir sistemlerinde Muskingum taşkın öteleme yöntemini önemli ölçüde geliştirdiğini belirtmiştir.

Luo ve Xie (2010) çalışmalarında bağıklık klonal seçilim algoritmasına dayalı doğrusal olmayan Muskingum modeli için yeni bir parametre tahmini yaklaşımı önermişlerdir. Bu geleneksel evrim algoritmasının erken oluşma ve yavaş yakınsama hızını etkili bir şekilde aşabilen yeni bir akıllı algoritma olduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntemi, herhangi bir parametrenin değerlerinin belirlenmesinde başlangıç tahmin aşamasına ihtiyaç duymamaktadır. Gözlemlenen ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki farklarının kareleri toplamı açısından en iyi parametre değerlerini bulduğunu belirtmişlerdir. Bu yöntemin performansı diğer rapor edilen parametre tahmin yaklaşımlarıyla



karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, önerdikleri yöntemin diğer tekniklerden daha fazla hassaslığa sahip olduğunu ve dolayısıyla doğrusal olmayan Muskingum modelinin parametre tahmininde etkili bir yol sağladığını söylemişlerdir.

Xu ve diğ. (2011) çalışmalarında Muskingum model parametrelerinin tahmini için diferansiyel evrim algoritmasının performansı incelemiştir. Literatürden elde edilen gerçek verilerle yapılan örnek çalışmada optimizasyon sonucunda diferansiyel gelişim algoritmasının Muskingum modelinin parametrelerini tahmininde iyi bir alternatif teknik olduğu belirtilmiştir.

Barati (2013) çalışmasında doğrusal olmayan Muskingum öteleme modellerinin parametrelerini tahmin etmek amacıyla Microsoft Excel (Microsoft Excel Help Files 1997) elektronik tablo yazılımının uygulamasını sunmuştur. Bu yaklaşımın en büyük avantajının yeteri kadar optimizasyon tekniklerinin ayrıntılarını bilmeden model parametrelerinin kolay kalibre edilebilir olmasıdır. Bu kalibrasyon işlemleri gradyan tabanlı ve gelişime dayalı bir optimizasyon yöntemi ile yapılmıştır. Bunlardan ilki parametre tahmininde başlangıç değerlerine ihtiyaç duyarken ikincisi ise bir takım algoritma parametrelerinin belirlenmesine bağlıdır. Muskingum modelleri, Excel optimizasyon çözücüsünün doğrusal olmayan ötelemede parametre tahminindeki problemleri azaltmada bu çözücünün daha iyi bir yol olduğu iddia edilmektedir. Ayrıca, gradyan tabanlı ve gelişmeye dayalı çözücü birlikte kullanılıyorsa model etkinliğinin artırılabilmekte olduğunu söylemiştir.

Easa (2013b) giriş hidrografını belirli parçalara bölerek bu parçalar arasında değişen bir doğrusal olmayan bir Muskingum modelini önermiştir. Önerilen değişken parametrelili modelde değişkenleri sınırları boyutsuz parametreler cinsinden ifade edilmiştir. Önerilen modelin parametreleri Excel optimizasyon çözücüsü kullanılarak elde edilmiştir.

Karahan ve diğ. (2013), doğrusal olmayan Muskingum modelinin parametre tahmini için hibrit armoni araştırma algoritmasını önermişlerdir. Hibrit armoni araştırma algoritmasını hızlandırmak amacıyla, yerel araştırma tekniği olan BFGS algoritmasını kullanmışlardır. Önerdikleri teknikte, çıkış hidrografi değerlerinin negatif olmasını önlemek için bir ceza fonksiyonu yaklaşımı

geliştirmişlerdir. Önerilen algoritmanın başlangıç parametre değerlerine bağımlı olmadığı ve hızlı yakınsama ile global optimum değerleri bulduğu gözlemlenmiştir. Önerilen algoritma sayesinde aynı depolama denkleminin kullanıldığı 12 farklı çalışma arasında en iyi çözümün elde edildiği vurgulanmıştır.

Easa (2014), doğrusal olmayan Muskingum modelinin bir depolama parametresi, depolama üzerindeki göreceli etkiler (ağırlıklı depolama) ve bir üstel parametre içeren iki matematiksel formu önermiştir. Birinci formda, üstel parametre depolama denkleminin giriş ve çıkış değişkenleriyle ilişkilendirilir; ikinci formda, bu denklemin ağırlıklı depolama terimi ile ilişkilendirmiştir. Çıkışların hidrograflarının negatif olmasını engellemek amacıyla dört model parametresi arasında bir sınırlama geliştirmiştir. Önerilen modelin çözümü önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtmiştir.

Easa (2015) çalışmasında boyutsuz akış değişkeninin bir fonksiyonu olarak ifade edilen sürekli ve süreksiz parametreleri kullanarak model performansını değerlendirmiştir. Parametreler her şema için beş doğrusal olmayan Muskingum modeli ile sonuçlandırmış bunlar süreksiz fonksiyon ve sürekli fonksiyon ile temsil edilmektedir. Modeleri Euler yöntemi ve dördüncü derece Runge-Kutta yöntemi olmak üzere uygulanmıştır. Farklı tipteki hidrograflar için uygun model seçimi açıklayan kılavuz ilkeler sunmuştur.

Haddad ve diğ. (2015b) çalışmasında geliştirdikleri yedi parametrelili bir doğrusal olmayan Muskingum modeli önermişlerdir. Önerilen model parametrelerinin tahmininde hibrit bir optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Önerilen modelin mevcut diğer modellere göre kıyasla daha iyi bir performans sergilediği ifade edilmiştir.

Hirpurkar ve Ghare (2014) çalışmasında doğrusal olmayan Muskingum modellerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Yapılan karşılaştırmalar sonucu Gill (1978) tarafından önerilen doğrusal olmayan Muskingum modelinin daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Niazkar ve Afzali (2015a) çalışmalarında Muskingum parametrelerinin iki farklı amaç fonksiyonu kullanılarak bal arısı eşleştirme optimizasyonu algoritması kullanılarak üç parametrelili doğrusal olmayan Muskingum modelinin parametreleri tahmin edilmiştir. Bu parametre tahmininde iki farklı amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

Karahan ve diğ. (2015) yanal akış etkisini dikkate alan yeni bir doğrusal olmayan Muskingum taşkın öteleme modeli geliştirmişlerdir. Model parametrelerinin doğrulanmasında ve kalibrasyonunda oldukça yeni bir algoritma olan guguk kuş araştırma algoritmasını kullanmışlardır. Önerdikleri modeli başarısı ve güvenilirliğini beş farklı yapay ve gerçek taşkın verileri üzerinde test etmişlerdir.

Afzali (2016) değişken parametrelili yeni bir doğrusal Muskingum modelini önermiştir. Önerilen modelde bal arısı eşleştirme yöntemi kullanılmıştır. Önerilen algoritma literatürdeki iki vaka üzerinde uygulanmış ve sonuçlar diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Moghaddam ve diğ. (2016) çalışmalarında doğrusal olmayan Muskingum modelinin parametrelerini Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritması ile tahmin etmişlerdir. Dört parametreye sahip olan yeni Muskingum modeli üç yapay vaka örneği ve İran'da gerçekleşen bir gerçek vaka üzerinde uygulamışlardır. Gözlenen ve tahmini çıkış akışı arasındaki farklarının kareleri toplamı ve mutlak sapmaların toplamı objektif fonksiyonlar olarak kabul etmişlerdir. Önerilen yöntemde Muskingum modeli daha karmaşık hale gelmesine rağmen çok-pikli hidrografa sahip taşkın vakalarında iyi sonuç üretilebileceği değerlendirilmiştir.

Niazkar ve Afzali (2016) Muskingum taşkın öteleme modellerinin iyileştirilmesi ile ilgili geniş bir literatür çalışması yapmış ve ayrıca altı parametrelili bir doğrusal olmayan Muskingum modeli önermişlerdir. Çalışmalarında gradyan tabanlı ve sezgisel tabanlı bir hibrit optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Önerilen bu model özellikle çift-pikli taşkın örneğinde oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Ayvaz ve Gürarslan (2017) çalışmalarında yanal akım etkisi dahil edilen doğrusal olmayan Muskingum taşkın öteleme modelleri için yeni bir hidrograf parçalama yaklaşımı önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşım, hidrografın farklı alt bölgelere bölünmesi ve böylece her bir alt bölgenin kendi model parametrelerine sahip olabilmesi sağlanmıştır. Önerdikleri yaklaşımın en büyük avantajı, alt bölgelerin oluşturulması sırasında herhangi bir kullanıcı müdahalesinden bağımsız olmasıdır. Önerilen yöntemin genel ve sistematik bir çözüm tekniği olup tüm Muskingum modellerinde uygulanabilir olduğunu ifade edilmiştir.

Perumal ve diğ. (2017) taşkın öteleme probleminde Muskingum-Cunge ve doğrusal olmayan Muskingum yöntemini performanslarını karşılaştırmıştır. Bu yöntemlerden ilki Gill (1978) tarafından önerilen üç parametrelili doğrusal olmayan Muskingum yöntemi ve ikincisi Perumal ve Price (2013) tarafından önerilen değişken parametrelili Muskingum-Cunge yöntemidir. Yapay taşkın veri seti üzerinde yapılan uygulamalar göstermiştir ki değişken parametrelili Muskingum-Cunge yöntemi doğrusal olmayan üç parametrelili Muskingum yönteminden daha iyi sonuç vermiştir.

Zhang ve diğ. (2016) doğrusal olmayan doğrusal olmayan Muskingum modelinde yer alan üstel bir parametreyi değişken olarak dikkate alarak yeni bir model önermiştir. Önerilen model esasen Karahan ve diğ. (2015) tarafından önerilen modelden esinlenilerek yanal debi katkısını dikkate almıştır. Bu çalışmada optimizasyon algoritması olarak gerçek sayılarla çalışan genetik algoritma optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

Kang ve diğ. (2017) iki yeni doğrusal olmayan Muskingum modeli önermişlerdir. Önerilen modellerin performansı üç hipotetik ve bir gerçek taşkın verisine uygulanmıştır. Optimizasyon işlemlerinde genetik algoritma ve Nelder-Mead Simplex metodunun birleşiminden oluşan bir hibrid algoritma kullanılmıştır.

Niazkar ve Afzali (2017) çalışmalarında değişken parametrelili on dört farklı Muskingum modeli önermişlerdir. Önerilen modellerde giriş hidrografi iki veya üç ayrı parçaya bölünmüştür. Önerilen modellerle elde edilen sonuçların üç

parametrelil doğrusal Muskingum modeline kıyasla daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

## 2. TAŞKIN ÖTELEME YÖNTEMLERİ

Taşkın öteleme problemleri iki temel yöntemle çözülmektedir. Bunlardan ilki hidrolik yöntemlerdir. Hidrolik yöntemler; kinematik dalga yöntemi, difüzyon dalga yöntemi ve dinamik dalga yöntemlerinden oluşmaktadır. Hidrolik yöntemler süreklilik ve momentum denklemleriyle birlikte kullanıldığından daha çok bilinmeyen parametreye sahiptirler. Bu parametreler hesaplamaları daha verimli şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olmasına karşılık çok daha fazla matematiksel hesap yükünü beraberinde getirmektedir. Yarı hidrolik yarı hidrolojik bir yöntem olan Muskingum-Cunge yöntemi de literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir diğer yöntem ise hidrolojik yöntemlerdir. Hidrolojik yöntemler de ise literatürde en yaygın ve sürekli olarak kullanılan Muskingum yöntemidir. Muskingum yöntemi genel anlamda doğrusal ve doğrusal olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu doğrusal ve doğrusal olmayan denklemler yanal debi etkisi dahil edilen ve dahil edilmeyen olarak kendi içlerinde ayrıca gruplandırılabilir. Hidrolojik yöntem daha az veri ile hesaplama süreci olan bir yöntemdir. Verilen giriş hidrografi ile çıkış hidrografi tahmin etme esasına dayanmaktadır.

### 2.1 Hidrolik Yöntemler

Hidrolik yöntemler, süreklilik denklemi ve hareket denklemi ile birlikte kullanılır (Subramanya, 2009). Taşkın ötelemesi için hareket denklemi ve momentum denkleminde aşağıdaki gibi türemiştir:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + VB \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = q \quad (2.1)$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.2)$$

burada  $\partial x$  (L) kanal uzunluğu,  $V$  ( $LT^{-1}$ ) ortalama akış hızı,  $g$  yer çekimi ivmesi,  $S_f$  sürtünme eğimi ve  $S_0$  ise kanalın yatak eğimi,  $A$  akış alanının kesiti,  $B$

su yüzeyinin genişliği,  $t$  zaman,  $y$  su derinliği ve  $q$  birim uzunluğa gelen yanal giriş miktarıdır (Subramanya 2009). Bir boyutlu süreklilik denklemi şu şekildedir:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.3)$$

yukarıda bahsedilen tek boyutlu süreklilik ve momentum denklemleri ilk olarak Barre de Saint-Venant (1871) tarafından sunulmuştur ve yaygın olarak Saint-Venant denklemleri olarak bilinmektedir (Chanson 2004). Dinamik dalga denklemini Denklem (2.1) ve Denklem (2.2)'de verilen süreklilik ve momentum denklemleri dinamik dalga modelini oluşturur. Momentum denkleminde çeşitli terimler ihmal edilerek kinematik ve difüzyon dalga denklemleri elde edilir.

### 2.1.1 Kinematik Dalga Yöntemi

Kinematik akış, yerçekimi ve sürtünme kuvvetleri dengesini sağladığında oluşur. Gerçekte ise yer çekimi ve sürtünme kuvveti arasındaki gerçek bir denge asla gerçekleşmez. Ama bununla birlikte yerçekimi ve sürtünme kuvvetlerinin bir dengeye yaklaştığı akış durumları mevcuttur. Bu koşullar için derinlik ve hızdaki zaman ve uzaklığa ilişkin değişiklikler kanalın yatak eğimine kıyasla büyüklük bakımından daha azdır. Bu nedenle, Denklem (2.2)'teki yatak eğiminin sağındaki terimlerin ihmal edilebilir olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayıma dayanarak momentum denklemi aşağıda ifade edilen düzeye indirgemektedir:

$$S_f = S_0 \quad (2.4)$$

burada esas olarak Denklem (2.3) akışın momentumunun Manning veya Chezy denkleminde tarif edildiği gibi üniform bir akış varsayımı ile yaklaştırılabileceğini belirtmektedir. Manning denkleminde  $S_f = S_0$  yazıldığında:

$$Q = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{U^{2/3}} S_0^{1/2} \quad (2.5)$$

eşitliği elde edilir ve bu eşitlik:

$$Q = \alpha A^\beta \quad (2.6)$$

şeklinde kısaltılabilir. Burada:

$$\alpha = \frac{\sqrt{S_0}}{nU^{2/3}} \quad (2.7)$$

$$\beta = \frac{5}{3} \quad (2.8)$$

şeklinindedir. Momentum denklemi alan ve debi arasındaki basit fonksiyonel ilişkiye indirildiğinden taşkın dalgasının hareketi sadece süreklilik denklemi ile tanımlanabilmektedir. Süreklilik denklemi ise aşağıdaki şekilde ifade edilirse:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2.9)$$

denklem (2.4) ve denklem (2.5)'in birleştirilmesiyle elde olunan denklem kinematik dalga denklemidir. Bu kombinasyondan oluşan kinematik dalga denklemi ise şu şekildedir:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \alpha mA^{(m-1)} \frac{\alpha A}{\alpha x} = q \quad (2.10)$$

Kinematik dalga denklemleri genellikle açık ve kapalı sonlu farklar yöntemleri ile çözülürler. Kinematik dalga denklemleri kullanılarak hesaplanan pik akışın azalması sonlu fark çözüm şemasında kendi yapısından kaynaklanan hatalara bağlıdır (Szymkiewicz 2010).

### 2.1.2 Difüzyon Dalga Yöntemi

Tam dinamik dalga denklemlerinin bir diğer yaygın olarak bilinen yaklaşımı difüzyon dalgası yaklaşımıdır. Difüzyon dalga modeli, süreklilik



denkleminin yani Denklem (2.1)'de ve aşağıdaki momentum denkleminin basitleştirilmiş hali ile ifade edilmektedir:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2.11)$$

difüzyon dalga modeli, kinematik dalga modelinin bir üst düzey hali olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu farklılık difüzyon dalga modelinde basınç farkı teriminin eklenmesinden kaynaklanmaktadır.

Difüzyon dalga denklemi kinematik dalga denklemindeki gibi süreklilik denklemi ve basitleştirilmiş momentum denklemiyle birlikte kullanılır. Difüzyon dalga modeli tek bir diferansiyel denklem haline indirilebilir. Bazı işlemler yapıldıktan sonra difüzyon denklemi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} - D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (2.12)$$

burada  $C$  , kinematik dalga hızıdır ve  $D$  ise hidrolik yayılma katsayısıdır.

## 2.2 Hidrolojik Yöntemler

Hidrolojik taşkın öteleme yöntemlerinden literatürde mevcut taşkın öteleme yöntemleri vardır. Burada sadece yarı hidrolik yarı hidrolojik Muskingum-Cunge yönteminden bahsedilip tez kapsamında detaylı bir şekilde çalışılmış olan Muskingum yöntemi derinlemesine incelenmiştir. Hidrolojik taşkın öteleme yöntemlerinden en bilindik ve en yaygın olanı Muskingum modelidir. Önemli nehir ıslah projeleri ile birlikte basitleştirilmiş taşkın öteleme yöntemlerinin geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar hidrolojik modeller olarak adlandırılmıştır. Hidrolojik modeller süreklilik denkleminin korunması hesabına dayanır ve aşağıdaki denklemde bu form ifade edilmiştir:

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (2.13)$$

burada  $S$  depolama miktarı,  $I$  ise giren akım ve  $O$  ise çıkan akım miktarını ifade eder. Depolama ( $S$ ) giren akım ve çıkan akımla ilişkili olduğu kabul edilir. Temel olarak denklem zamana bağlı olarak girdi ve çıktı arasında oluşan farkın depolama değerini ifade eder.

Hidrolojik yöntemler akımın süreklilik denklemini kullanır. Hidrolojik yöntemler, hidrolik yöntemlere göre veri azlığı bakımından avantajlıdır ve hesap kolaylığı sağlar. Fakat bu veri azlığı hesaplamalarda daha az değişken dikkate alındığı için hatalara sebep olabilmektedir. Yeterli verinin bulunmadığı hesaplarda hidrolojik yöntem kullanmak zorunlu hale gelmektedir. Yeterli veriye sahip olduğunda hidrolik yöntemler hidrolojik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verebilmektedir.

### 2.2.1 Muskingum Yöntemi

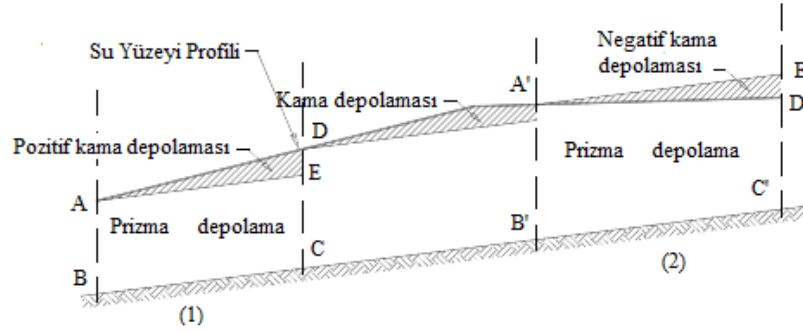
Muskingum yöntemi taşkın öteleme için en iyi bilinen ve en yaygın kabul gören hidrolojik yöntemlerden biridir. Amerikan Ordusunun Ohio'daki Muskingum Havzası'nın yönetiminde kullanılmak üzere McCarthy (1938) tarafından tanıtılmış ve kullanılmıştır (Chow 1959, Roberson ve diğ. 1988). Bununla beraber kullanım kolaylığı açısından doğrusal Muskingum yöntemi doğal kanal ve nehirlerde kullanılan taşkın öteleme modelleri arasında en çok tercih edilen hidrolojik yöntemlerden biridir (Ülke 2003). Burada en önemli hususlardan birisi orijinal Muskingum metodunun ampirik olduğunun bilinmesidir. Muskingum yöntemi kendi içerisinde doğrusal yöntemi ve doğrusal olmayan Muskingum yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Klasik Muskingum modeli süreklilik ve depolama denklemleri üzerine kurulur.

Denklem (2.13)'te verilen süreklilik denklemine ek olarak aşağıdaki depolama denklemi Muskingum denklemi olarak adlandırılır (Chow 1959, Chow ve diğ. 1988):

$$S = K[xI + (1-x)O] \quad (2.14)$$

burada denklemde birlikte çalışan  $K$  ve  $x$  olmak üzere iki katsayı mevcuttur.  $K$  kanal boyunca akımın yolculuk süresiyle veya dalgaların kanal içerisindeki çevirimi ile ilişkilidir.  $x$  katsayısı ise 0 ile 0.5 aralığı ile sınırlı ve kalibrasyon verilerinden tahmin etmek için geliştirilmiş bir katsayıdır (Roberson ve diğ. 1988).  $x$ 'in fiziksel bir anlamı yoktur.

Bu yöntem bir nehir kanalı içindeki kama ve prizma depolamasının toplamı olarak bize gerçekleşecek taşkın hacmini verir. Bu hacim görsel olarak Şekil (2.1)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Kama ve prizmatik depolama (Linsley ve diğ. 1982)

Şekil 2.1'de taşkın dalgasının geçişi gösterilmiştir. Şekilde (1) ile gösterilen kısımda yükselen seviye yani taşkın dalgasının geldiğini gösterir. Şekilde (2) ile gösterilen kısımda alçalan seviye yani taşkın dalgasının gittiğini gösterir. Taşkın geldiği ve taşkın gittiği kısımlarda kanal yatağına paralel ve alt istasyon, A ve A' seviyesinden geçen tabana paralel düzlemin altında kalan depolamaya prizma depolama (ABCD ve A'B'C'D') denir. Bu düzlemle su yüzeyi arasında kalan depolamaya da kama depolama (AED ve A'E'D') denir (Usul 2008).

Süreklilik denklemi Muskingum yöntemi için öteleme denklemi vermekteydi. Yalnızca bir bilinmeyen var ise, o zaman ilgili bilinmeyenlerin doğrudan hesaplandığı ayrı denklemlere bölünebilir: Bu depolama denklemi şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$O_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 O_j \quad (2.15)$$

Denklem (2.14)'de karşımıza  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  şeklinde üç katsayı çıkmaktadır. Bu katsayılar ise şu şekildedir:

$$C_1 = \frac{dt - 2Kx}{2K(1-x) + dt} \quad (2.16)$$

$$C_2 = \frac{dt + 2Kx}{2K(1-x) + dt} \quad (2.17)$$

$$C_3 = \frac{2K(1-x) - dt}{2K(1-x) + dt} \quad (2.18)$$

Daha önceden de belirtildiği gibi, Muskingum yöntemini kullanmadan önce  $K$  ve  $x$  olmak üzere iki parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Tezin asıl çalışma konusu olan doğrusal olmayan Muskingum yöntemi Bölüm 3'te literatürdeki çalışmalarla birlikte detaylı bir şekilde incelenmiştir.

### 2.2.2 Muskingum-Cunge Yöntemi

Muskingum-Cunge yöntemi taşkın ötelemede girişi ve çıkışı ilişkilendirmek için bir yine Muskingum yönteminde olduğu gibi depolama ilişkisini kullanır. Muskingum-Cunge yaklaşımda  $K$  katsayıları ve  $x$ , akış, kanal ve sonlu fark hücre parametrelerinin cinsinden şu şekilde ifade edilir (Cunge 1969, Koussis 1978):

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (2.19)$$

$$x = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{q}{S_0 c dx} \right) \quad (2.20)$$

burada  $\Delta x$  sonlu fark hücresinin alan artışını ifade etmekte olup,  $c$  ise bir taşkın dalgası hızını,  $q$  birim genişlik debisidir,  $S_0$  ise kanal yatak eğimidir. Denklem (2.19) ve (2.20)'de herhangi bir kalibrasyona gerek yoktur Debi ve taşkın öteleme dalgası hızları genellikle bir taşkın dalgası boyunca çeşitli noktalarda farklılık göstermektedir. Bu gözlemlenen doğrusal olmayan durumu

hesaba katmak için Koussis (1976) ve Weinmann and Laurenson (1979) değişken katsayı kavramını sunmuşlardır.  $K$  ve  $x$  her birim genişlik için debi ve dalga hızı güncellenerek değerlerin bir fonksiyonu olarak hesaplamışlardır. Grid noktasındaki  $(j, n)$  her birim genişlik debi ve dalga hızı şu şekildedir:

$$c = \frac{dQ}{dA} \Big|_{j,n} \quad (2.21)$$

$$q = \frac{Q}{B} \Big|_{j,n} \quad (2.22)$$

Burada  $Q$  toplam debidir,  $A$  akışın kesit alanı,  $B$  su yüzeyini üstündeki genişliği ve  $c$  taşkın dalgasının hızıdır. Debi ve kesit alanı arasındaki ilişki Manning denklemi ile ifade edilir aynı zamanda enerji çizgisi eğimi ise kanal taban eğimine eşit alınır.

### **3. DOĞRUSAL OLMAYAN MUSKİNGUM MODELLERİ**

Muskingum modellerinde depolama denklemi süreklilik denklemleri ile birlikte kullanılır. Depolama değeri ile giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişki, çoğu vakada doğrusal olmadığı için doğrusal olmayan Muskingum modeli önerilmiştir. Doğrusal modelin aksine doğrusal olmayan Muskingum modellerinin parametre tahmininde bir sayısal öteleme prosedürü gerektirmektedir (Das 2004).

Literatürde birçok araştırmacı tarafından farklı doğrusal olmayan Muskingum modeli önerilmiştir. Doğrusal olmayan Muskingum modeli birçok araştırmacı tarafından modifiye edilmiş, geliştirilmiş ve farklı optimizasyon teknikleri ile çalışılmıştır.

Literatürde mevcut olan doğrusal olmayan Muskingum modellerinin çeşitli versiyonları, sabit ve değişken parametrelili olarak iki ana başlık altında derlenmiş ve bu derlenen başlıklar parametre sayılarına göre ayrıca kendi içinde detaylandırılıp sunulmuştur. Tez kapsamında, sabit parametrelili olarak yeni bir model önerilmiştir.

#### **3.1 Sabit parametrelili Muskingum modelleri**

Sabit parametrelili Muskingum modelleri taşkın ötelemede sabit değer parametrelerine sahiptir. Doğrusal olmayan Muskingum modellerinin şu ana dek dokuz farklı varyasyonu mevcuttur. Literatürde mevcut olan bu varyasyonlar parametre sayılarına göre gruplandırılmıştır. Parametre sayılarına göre üç, dört, beş, altı ve yedi parametreye sahip Muskingum modeli olarak sıralanmıştır. Bunların her biri aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur.

##### **3.1.1 Üç sabit parametreye sahip Muskingum modeli:**

Üç parametreye sahip üç farklı model mevcuttur. Bu modellerden bir diğeri Chow (1959) tarafından geliştirilen model Denklem (3.1)' de, Gill (1978)

tarafından geliştirilen model Denklem (3.2)' de verilmiştir.ve O'Donnell (1985) tarafından geliştirilen model ise Denklem (3.3)' te sunulmuştur:

$$S_t = K[xI_t^\alpha + (1-x)O_t^\alpha] \quad (3.1)$$

$$S_t = K[xI + (1-x)O]^m \quad (3.2)$$

$$S_t = K[x(1+\beta)I_t + (1-x)O_t] \quad (3.3)$$

Gill (1978) Muskingum denkleminin sabitleri, deneme yanılma ve grafiksel yöntemle alternatif olarak en küçük kareler yöntemi ile belirlenmiştir. Sözü edilen modeller arasında Gill'in modeli doğrusal olmayan Muskingum modellerinin en yaygın olarak kullanılan versiyonu haline gelmiştir ve özellikle bu modelin performansını artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrusal olmayan modellerde, incelenen alan boyunca yanal akış hesaplamalara dahil edilmemiştir.

### 3.1.2 Dört sabit parametreye sahip Muskingum modeli

Dört parametrelili iki farklı Muskingum modeli tanıtılmış olup bunlardan ilki, Chow'un üç parametrelili modelin yani Denklem (3.1)' in bir varyasyonudur. Model  $K$  ve  $x$  parametrelerinin yanında  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  olmak üzere iki farklı üstel parametreye de sahiptir (Gavilan ve Houck 1985):

$$S_t = K[xI_t^{\alpha_1} + (1-x)O_t^{\alpha_2}] \quad (3.4)$$

Diğer yandan ikinci model, Chow'un Denklem (3.1) ve Gill'in Denklem (3.2)' de doğrusal olmayan Muskingum modellerinin (Easa 2013b; Moghaddam ve diğ. 2016) bir birleşimi olarak ortaya çıkmıştır. Bu model ise şu şekildedir:

$$S_t = K[xI_t^\alpha + (1-x)O_t^\alpha]^m \quad (3.5)$$

buradaki modelde  $\alpha$  ve  $m$  üstel parametrelerdir.

### 3.1.3 Beş sabit parametreye sahip Muskingum modeli

Literatürde iki beş parametrelili Muskingum modeli mevcuttur. Denklem (3.6)' da Vatankhah (2014) tarafından sunulan modeldir. Denklem (3.7)' de ise Karahan ve diğ. (2015) tarafından ilk defa yanal debi katkısını dikkate alan bir model önerilmiştir. O'Donnell'in doğrusal olmayan Muskingum modelinde her zaman aralığında giriş hidrografına göre doğrusal yanal akış varsayımı, Gill'in doğrusal olmayan modeli için genişletmişlerdir (Karahan vd. 2015).

$$S_t = K[xI_t^{\alpha_1} + (1-x)O_t^{\alpha_2}]^m \quad (3.6)$$

$$S_t = K[x(1+\beta)I_t + (1-x)O_t]^m \quad (3.7)$$

Karahan ve diğ. (2015)'in önerdikleri öteleme prosedüründe  $O_t$  'nin hesaplanmasında  $I_{t-1}$  ve  $I_t$  'nin ağırlıklı ortalaması ( $W_t$ ) kullanmışlardır. Bu ağırlık ortalama değeri  $I_{avg} = [\theta I_t + (1-\theta)I_{t-1}]$  gibi ifade edilmiştir.

### 3.1.4 Altı sabit parametreye sahip Muskingum modeli

Muskingum modelinin bir başka geliştirilmiş altı parametrelili versiyonu Easa ve diğ. (2014) tarafından önerilmiştir. Model, Denklem (3.8)' de sunulmuştur.

$$S_t = K[xK_1I_t^{\alpha_1} + (1-x)K_2O_t^{\alpha_2}]^m \quad (3.8)$$

### 3.1.5 Yedi sabit parametreye sahip Muskingum modeli

Haddad ve diğ. (2015a) tarafından önerilen Muskingum modelinde yedi parametrelili doğrusal olmayan Muskingum modeli önermiştir. Diğer bilinen doğrusal olmayan Muskingum modellerinden daha karmaşıktır.

Taşkın öteleme problemini gözlenen ve hesaplanan çıkış hidrografi değerleri arasındaki farkın kareleri toplamını en aza indiren bir matematiksel optimizasyon modeli olarak formüle etmiştir. Buna ek olarak, parametrelerin



kalibrasyonu için çalışmalarında yeni bir hibrid optimizasyon yöntemi önermişlerdir. Önerilen modele ait depolama denklemi aşağıda verilmektedir:

$$S_t = K[x(C_1 I_t^{\alpha_1}) + (1-x)(C_2 O_t^{\alpha_2})]^\beta \quad (3.9)$$

### 3.2 Değişken parametrelili Muskingum modelleri:

Muskingum model parametreleri gerçekte sabit değildir. Bu nedenle literatürde değişken parametrelili Muskingum modelleri önerilmiştir. Easa (2013a) tarafından önerilen modelde, Gill (1978) tarafından önerilen modelin üs parametresi (m) değişken hale getirilmiştir. Bu modelde, önce giriş hidrografi parçalanmış ve her parça için ayrı ayrı üs parametresi tanımlanmıştır. Yani üs parametresi kesikli bir fonksiyon yapısına sahip olup giriş hidrografi boyunca değişkenlik göstermektedir. Easa (2013a) tarafından önerilen modelde depolama denklemi aşağıdaki gibidir:

$$S_t = K[xI_t + (1-x)(O_t)]^{m(u_i)} \quad (3.10)$$

Easa ve diğ. (2014) tarafından önerilen modelde ise Easa (2013a) modelindeki sabit parametrelerin sayısı bir arttırılarak daha fazla parametreye sahip bir model haline getirilmiştir. Easa ve diğ. (2014) tarafından önerilen modelde depolama denklemi aşağıdaki gibidir:

$$S_t = K[xI_t^\alpha + (1-x)O_t^\alpha]^{m(u_i)} \quad (3.11)$$

Easa (2013a) modelindeki üstel parametre, sürekli fonksiyon yapısında ele alınarak değişken parametrelili yeni bir model Easa (2015) tarafından önerilmiştir.

### 3.3 Tez Kapsamında Önerilen Model

Bu tez kapsamında önerilen modele ait süreklilik ve depolama denklemi sırasıyla Denklem (3.12) ve Denklem (3.13)' de verilmektedir:

$$\frac{dS}{dt} = I + IL - O \quad (3.12)$$

$$S_t = K[x(I_t + IL_t)^{\alpha_1} + (1-x)O_t^{\alpha_2}]^m \quad (3.13)$$

yukarıda verilen denklemlerde  $I$  herhangi bir  $t$  anındaki giriş hidrografi değerini,  $IL$  herhangi bir  $t$  anındaki yanal debi değerini ve  $O$  ise herhangi bir  $t$  anındaki çıkış hidrografi değerini ifade etmektedir. Herhangi bir  $t$  anındaki yanal debi değeri doğrusal olmayan formda aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$IL_t = \alpha_3 I_t^{\alpha_4} \quad (3.14)$$

farklı  $t$  anlarındaki yanal debi değeri ve giriş hidrografi değerlerinin ağırlıklı ortalamasından oluşan  $\hat{I}$  değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\hat{I} = \left( \frac{\theta_1(IL_t + I_t) + \theta_2(IL_{t-1} + I_{t-1}) + \theta_3(IL_{t-2} + I_{t-2})}{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3} \right) \quad (3.15)$$

bu denklemde ifade edilen  $\theta_1, \theta_2$  ve  $\theta_3$  ağırlık katsayılarıdır.  $\hat{I}$  değerini depolama denkleminde yerine koyduğumuzda herhangi bir  $t$  anındaki çıkış hidrografi değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$O_t = \left[ \frac{(S_t / K)^m - x \hat{I}_t^{\alpha_1}}{(1-x)} \right]^{1/\alpha_2} \quad (3.16)$$

bir sonraki adımda çıkış değeri ( $O_{t+1}$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$O_{t+1} = \left[ \frac{(S_{t+1} / K)^m - x \hat{I}_{t+1}^{\alpha_1}}{(1-x)} \right]^{1/\alpha_2} \quad (3.17)$$

yukarıdaki denklemde elde ettiğimiz bu denklemi süreklilik denkleminde yerine koyduğumuzda bir sonraki zaman adımında depolama değeri Euler formülü yardımıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$S_{t+1} = S_t + \Delta t(I_t + IL_t - O_t) \quad (3.18)$$

Yukarıdaki denklemlerden de anlaşılacağı gibi önerilen model on parametrelidir ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \theta_1, \theta_2, \theta_3, K, x$  ve  $m$ ) bir modeldir. Optimizasyon sürecinde depolama değerleri ( $S_{t+1}$ ) ve çıkış değerleri ( $O_{t+1}$ ) negatif veya kompleks değerler alabilmektedir (Karahan ve diğ., 2013). Negatif veya kompleks değerler fiziksel açıdan anlamsızdır. Bu problemi aşmak için aşağıdaki ceza fonksiyonları kullanılmaktadır:

$$S_{t+1}^* = \begin{cases} S_{t+1} \geq 0 & \text{ise } S_{t+1} \\ S_{t+1} < 0 & \text{ise } \lambda_1 |S_{t+1}| \\ S_{t+1} \text{ kompleks} & \text{ise } \lambda_1 |\Re(S_{t+1})|_{t+1} \end{cases} \quad (3.19)$$

$$O_{t+1}^* = \begin{cases} O_{t+1} \geq 0 & \text{ise } O_{t+1} \\ O_{t+1} < 0 & \text{ise } \lambda_1 |O_{t+1}| \\ O_{t+1} \text{ kompleks} & \text{ise } \lambda_1 |\Re(O_{t+1})|_{t+1} \end{cases} \quad (3.20)$$

burada  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  ceza katsayılarıdır,  $\Re(\bullet)$  ise  $S_{t+1}$  veya  $O_{t+1}$  'nin kompleks değerlerinin gerçel kısımlarıdır. Hesaplama  $S_{t+1}$  ve  $O_{t+1}$  değerleri sıfırdan büyükse Denklem (3.19) ve Denklem (3.20)'ye göre ceza fonksiyonları uygulanmaz. Eğer  $S_{t+1}$  ve  $O_{t+1}$  değerleri negatif değer alırlarsa penaltı süreci yukarıdaki denklemlerdeki gibi uygulanır. Yine aynı denklemde  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  katsayıları probleme bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Araştırma sürecine başlamadan önce  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  değerlerini belirlemek için performans analizi yapılır. Tez kapsamında önerilen öteleme yaklaşımı için aşağıdaki adımlar kullanılır:

1. Modeldeki ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \theta_1, \theta_2, \theta_3, K, x$  ve  $m$ ) parametreler için kısıt değerleri girilir.
2. Yanal debi katkısını tanımlamak için  $\alpha_3$  ve  $\alpha_4$  hesaplanır.
3.  $O_t$  'de kullanılmak üzere farklı t anlarındaki yanal debi değeri ve giriş hidrografi değerlerinin ağırlıklı ortalamasından oluşan  $\hat{I}$  değeri Denklem (3.15)'e göre hesaplanır.
4.  $S_t$  ve  $O_t$  'yi hesaplamak için sırasıyla Denklem (3.13) ve Denklem (3.16) kullanılır.

5. Denklem (3.18) kullanılarak  $S_{t+1}$  hesaplanır.
6. Bir sonraki adımda çıkış değeri ( $O_{t+1}$ ) Denklem (3.17) kullanılarak hesaplanır, eğer gerekli ise Denklem (3.20)'e göre hesaplanır.
7. 4. Adıma geri dönülür ve her zaman aralığı için hesaplamalar tekrar edilir.

Parametrelerin tahmini guguk kuşu araştırma algoritması olarak bilinen bir sezgisel optimizasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. En küçük yapılacak amaç fonksiyonu, gözlenen ve hesaplanan çıkış hidrografları arasındaki farkların kareleri toplamı (FKT) olarak seçilmiştir. Amaç fonksiyonunun matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$FKT = \sum_{i=1}^n (\tilde{O}_i - O_i)^2 \quad (3.21)$$

burada  $\tilde{O}_i$ ,  $i$ 'inci zaman adımında gözlenen çıkış hidrografi değerini ve  $O_i$  ise  $i$ 'inci zaman adımında hesaplanan çıkış hidrografi değerini ifade etmektedir.

## 4. GUGUK KUŞU ARAŞTIRMA ALGORİTMASI

### 4.1 Guguk Kuşu Algoritması

Optimizasyon literatürde hızla genişleyen ve büyüyen bir araştırma alanıdır. Modern hayatımızda birçok uygulama alanında zaman, para ve kaynakların kısıtlı olduğunu biliyoruz. Bu sebeplerden ötürü bunları optimal kullanımının önemi artmaktadır. Mühendislik alanında tasarımların ve problemlerin en uygun çözümlerini elde etmek zor olabilmektedir.

Problemin çözümüne uygun daha verimli algoritmalar olmasa bile, mühendislik problemlerini çözmek için çeşitli teknikler ve probleme özgü yöntemler kullanarak problem çözülebilmektedir. Bu da araştırmacıları daha uygun araştırma yöntemlerine ve probleme özgü olan bilgiye yöneltmektedir. Guguk kuşu araştırma algoritması (GKA) da bu optimizasyon tekniklerinden birisidir. Guguk kuşu arama algoritması, Xin-She Yang ve Suash Deb (2009) tarafından geliştirilen ve doğadan esinlenerek oluşturulan sezgisel algoritmalarından biridir. GKA algoritması bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka parazitliği (kuluçka asalaklığı) doğasını temel alan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım guguk kuşlarının göç süreçlerinin de gözlemlenmesiyle, kullanıcı tercihine bağlı olarak Pavlyukevich (2007)'nin Lévy uçuşu adı verilen yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Son çalışmalar, GKA'nın potansiyel olarak PSO (Parçacık sürüsü optimizasyon) ve genetik algoritmalara simülasyonundan verimli olduğunu göstermektedir (Yang ve Deb 2009).

Ani ve Guira guguk kuşları gibi bazı türler yumurtalarını uygun gördükleri farklı kuşların yuvalarına bırakıp yuva içerisindeki bir yumurtayı dışarı atmaktadırlar. Fark edilmeyecek derecede benzerliğe sahip yumurtaları sayesinde yuva sahibi kuşun kuluçka asalaklığına katlanmasına mecbur bırakırlar (Yang ve Deb 2009; Dikbayır 2017).

Guguk Kuşu Araştırmasını tanımlamak için aşağıdaki gibi olan ideal kurallar kullanılmaktadır:

- Her guguk kuşu bir anda bir yumurta bırakır ve rastgele seçilmiş olan bir yuvaya bırakılır.
- Yüksek kaliteli yumurtaya sahip en iyi yuvalar gelecek kuşaklara aktarılacaktır.
- Guguk kuşu tarafından bırakılan yumurtaların yumurtalar  $p_a \in (0-1)$  olasılığı ile yuva sahibi kuş tarafından keşfedilebileceği var sayılmıştır. Bu da ev sahibi kuşun yumurtadan kurtulabileceğine, yuvadan ayrılabilceğine veya tamamen yeni bir yuva kurabileceğine işaret etmektedir.

Bir optimizasyon probleminin çözümünün doğruluğu amaç fonksiyonun değeri ile orantılıdır (Yang ve Deb 2009). Bu tez çalışmasında ise amaç fonksiyonunu minimize etme üzerine uygulanmıştır. Uygulama da ise, bir yuvadaki her yumurtanın bir çözümü temsil ettiğini ve her guguk kuşunun sadece bir yumurta verebileceğini, potansiyel olarak daha uygun çözümleri kullanmak amacıyla aşağıdaki ifadeler kullanılmaktadır. Araştırma yöntemi yuvalardaki uygun olmayan bir çözümleri yeni ve potansiyel olarak daha iyi çözümlerle değiştirmektedir. Bu algoritma, yerel bir rastgele adımın dengeli bir kombinasyonunu ve  $p_a$  anahtarlama parametresi tarafından kontrol edilen global rastgele adımı kullanır. Lokal rastgele adım şu şekilde yazılabilir:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha s \otimes H(p_a - \epsilon) \otimes (x_j^t - x_k^t) \quad (4.1)$$

Burada  $x_j^t$  ve  $x_k^t$  rastlantısal permütasyon ile seçilen rastgele iki değişkendir.  $H(u)$  birim adım fonksiyonudur,  $\epsilon$  aynı dağılımdan rastgele bir sayıdır, ve  $s$  ise adım boyutudur. Global adım ise Lévy uçuşlarını kullanarak gerçekleştirilir ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha L(s, \lambda) \quad (4.2)$$

$$L(s, \lambda) = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\pi \lambda / 2)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} \quad s \gg s_0 > 0 \quad (4.3)$$

Burada,  $\alpha > 0$  adım boyutu ölçekleme faktörüdür ve bu ilgili probleminin ölçekleriyle ilişkilidir. Yukarıdaki denklem aslında rastgele bir adım için stokastik denklemdir. Genel olarak, rastgele adım sonraki durum ya da konumun yalnızca geçerli konuma (yukarıdaki denklemdeki ilk terim) ve geçiş olasılığına (ikinci terim) bağlı bir Markov zinciridir (Yang ve Deb 2009., Yang ve Deb 2010). Lévy uçuşu, hayvan yemleme kalıplarının tanımını, insanların seyahat dağılımını ve hatta deprem davranışının bazı yönlerini anlatan çeşitli bir yelpazede uygulanmıştır (Viswanathan ve diğ., 1999).

## 4.2 Guguk Kuşu Algoritmasının Çalışmaya Uyarlanması

Algoritmanın en önemli adımlarından biri, Lévy uçuşlarının rastgele araştırma için kullanılmasıdır. Lévy uçuşu rasgele bir yürüyüş türüdür ve bir olasılık yoğunluk fonksiyonundan belirlenen atlamalar dizisiyle tanımlanır (Pavlyukevich 2007). Lévy uçuşunda rastgele araştırma işlemi kontrol eden basamak boyutu  $\alpha$  genellikle 0 ve 1 aralığı arasında seçilir.  $\alpha$  değerinin 0,1 olarak ayarlanması, özellikle küçük boyutlu optimizasyon problemleri için etkili sonuçlar üretebilir (Walton ve diğ. 2011). Guguk kuşu algoritmasında diğer önemli parametre  $p_a$  'dır ve  $p_a$  ev sahibi kuşlar tarafından guguk kuşu yumurtalarının keşfedilmesidir. Yang ve Deb (2009) algoritmanın yakınsaklık hızının  $p_a$  değerinden kuvvetli bir şekilde etkilenmediğini vurgulamış ve bu nedenle  $p_a = 0,25$  olarak ayarlanmasını önermişlerdir. Yuva sayısı ( $n$ ) ve maksimum nesil sayısı sırasıyla 20 ve 1000 olarak belirlenmiştir.

$$new\_nest_i^t = nest_i^t + \alpha L(nest_i^t - nest_{best}^t) \quad (4.4)$$

$new\_nest_i^t$  Lévy uçuşlarının oluşturduğu yeni yuva,  $nest_i^t$  popülasyondan rastgele seçilmiş bir yuva,  $nest_{best}^t$  ise elde edilen en iyi yuva,  $\alpha$  adım büyüklüğü ve  $L$  ise adım uzunluğudur. Yeni yuvayı belirledikten sonra, amaç fonksiyonu

Denklem (3.21) kullanılarak iki yuvanın amaç fonksiyon değerleri hesaplanır ve en iyi yuva tutulur. Adım uzunluğu  $L$  aşağıdaki gibidir:

$$L = \frac{u}{|v|^{1/\beta}} \quad (4.5)$$

Burada  $\beta$  ölçek parametresi ve önerilen aralık 1 ile 2 arasındadır. Bu çalışmada  $\beta$  değeri 1.5 olarak belirlenmiştir.  $u$  ve  $v$  değerleri normal dağılımdan elde edilir:

$$\begin{aligned} u &= N(0, \sigma_u^2), \\ v &= N(0, \sigma_v^2), \end{aligned} \quad (4.6)$$

burada  $N$  normal dağılıma işaret eder,  $\sigma_u$  ve  $\sigma_v$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \sigma_u &= \left\{ \frac{\Gamma(1 + \beta) \sin(\pi\beta / 2)}{\Gamma[(1 + \beta) / 2] \beta 2^{(\beta-1)/2}} \right\}^{1/\beta}, \\ \sigma_v &= 1 \end{aligned} \quad (4.7)$$

burada  $\Gamma$ , gama fonksiyonunu belirtir. Yabancı yumurtaların keşfedilmesi için  $P$  olasılık matrisi bütün yumurtalara uygulanır. Bu süreç şu şekildedir:

$$p_{ij} = \begin{cases} \text{eğer } (0,1) < p_a & 1, \\ \text{değilse} & 0, \end{cases} \quad (4.8)$$

burada  $P$ 'nin matrisindeki  $i$ 'inci yuvanın  $j$ 'inci değişkeni için keşif olasılığı bulunur. Yerel bir rastgele adımının oluşturulup oluşturulmadığını belirlemek için  $P_a$ 'nın değeri  $rand(0,1)$  kullanılarak üretilen değer ile karşılaştırılır.  $rand(0,1)$  ifadesi 0 ile 1 arasında rastgele seçilen bir değeri ifade etmektedir. Keşif olasılıklarını belirledikten sonra yeni yuvalar aşağıdaki gibi üretilir:

$$new\_nest^t = nest^t + K * P \quad (4.9)$$



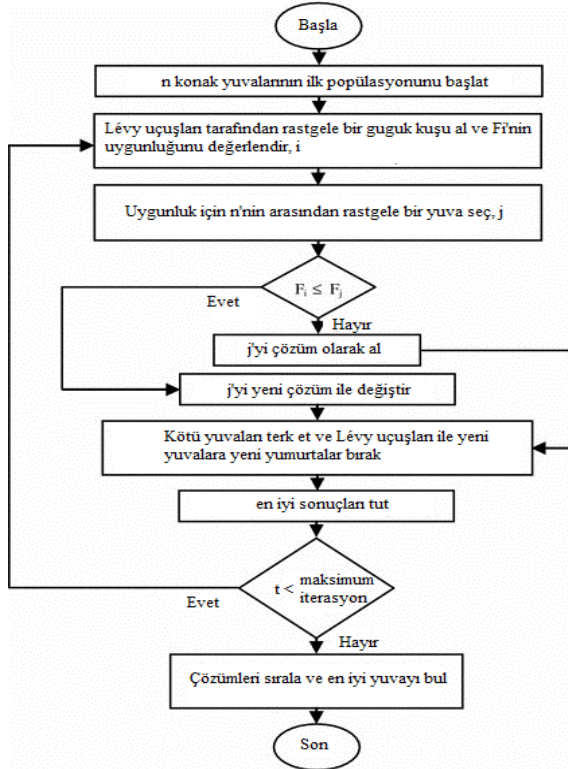
burada  $K$  aşağıdaki denklemi kullanılarak üretilen lokal adım boyutunun matrisidir:

$$K = rand(0,1) * (nests[permute1[i][j]]) - nests[permute2[i][j]] \quad (4.10)$$

$rand(0,1)$  değeri, 0 ile 1 arasındaki aralıkta rastgele sayı üretir ve permute 1 ve permute 2 ise yuva matrisine uygulanan farklı sıralı permütasyon fonksiyonlarıdır (Kaveh ve Bakhshpoori 2013). Son olarak, var olan ve yeni fonksiyon (F) değerleri her yuva için karşılaştırılır ve en iyi yuva sonraki jenerasyon için aşağıdaki basit kurala göre kullanılır:

$$nest_i^{t+1} = \begin{cases} \text{eğer } F(nest_i^t) < F(new\_nest_i^t), & nest_i^t \\ \text{değilse,} & new\_nest_i^t \end{cases} \quad (4.11)$$

Yeni yuvaların oluşturulması ve yabancı yumurtaları keşfetme adımları, durdurma kriteri yerine getirilene kadar veya nesillerin maksimum nesline ulaşılanaya kadar tekrarlanır (Yasar 2016). Algoritmanın genel akış diyagramı Şekil (4.1)' de sunulmuştur.



Şekil 4.1: Guguk kuşu algoritmasının akış şeması

Tez çalışmasında durdurma kriteri  $\kappa$  (Kapa) olarak adlandırılmış ve belirli bir değerin altında kalması olarak tanımlanmıştır. Bu  $\kappa$  değeri ise bu tez çalışması için  $1 \times 10^{-6}$  olarak seçilmiştir. Durdurma kriterinin formülasyonu ise şu şekildedir:

$$\kappa = |F_{\max} - F_{\min}| \leq 1 \times 10^{-6} \quad (4.12)$$

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

Önerilen model yanal debi katkısını dikkate alan sabit parametrelili bir modeldir. Toplam 10 parametreye sahiptir (NLMM-L-10P). Önerilen Muskingum modeli dört veri seti çalışması üzerinde uygulanmıştır. Bu dört veri seti literatürde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar sırası ile Wilson (1974), Wye (NERC 1975), Wyre (NERC 1975) ve Viessman ve Lewis (2003) veri setleridir. Önerilen modelin kalibrasyonu guguk kuşu araştırma algoritması ile gerçekleştirilmiştir.

Birinci uygulamada Wilson, ikinci uygulamada Wye, üçüncü uygulamada Wyre ve son olarak dördüncü uygulamada Viessman ve Lewis taşkın verisi çözülmüştür. Sabit parametrelili olarak yapılan bu çözümler için hesaplanan çıkış hidrografi ve kalibre edilmiş parametre değerleri ayrı ayrı tablolar halinde sunulmuştur. Önerilen model ile elde edilen amaç fonksiyonunun değerleri literatürde verilmiş olan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmış ve ayrı ayrı tablolar halinde sunulmuştur.

### 5.1 Birinci Uygulama

İlk örnek olarak Wilson taşkın verisi kullanılmıştır. Wilson taşkın verisi düzgün tek pikli hidrograftir. Ağırlıklı debi ve depolama arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu bilinmektedir (Mohan 1997). Daha önce bir çok önerilen Muskingum model kalibrasyonunda kullanılan örnek olmuştur. Wilson verisi 21 adet veriden ve zaman adımları 6 saatlik dilimlerden oluşmaktadır.

Wilson veri seti için seçilen parametre aralıkları  $\alpha_1 = [0,1]$  ,  $\alpha_2 = [0,1]$  ,  $\alpha_3 = [-600,0]$  ,  $\alpha_4 = [-2,0]$  ,  $\theta_1 = [-1,1]$  ,  $\theta_2 = [-1,1]$  ,  $\theta_3 = [-1,1]$  ,  $K = [0,10]$  ,  $x = [0,0.5]$  ve  $m = [0,100]$  şeklinde seçilmiştir. Önerilen optimizasyon modeli Wilson veri seti için 10 deneme yapılarak çözülmüştür. Yapılan denemelerin her

bir parametre için minimum, maksimum, ortalama değerleri ve standart sapması hesaplanıp Tablo (5.1)' de sunulmuştur.

Tablo 5.1: Wilson veri seti için yapılan denemeler

Denemeler	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$K_1$	$x_1$	$m_1$	$f(x)$
1	0.023	-0.086	-0.066	0.282	0.046	-399.438	-1.670	6.549	0.024	23.055	1.358
2	-0.237	0.875	0.745	0.237	0.014	-531.194	-1.755	7.591	0.009	71.876	1.351
3	-0.270	0.994	0.849	0.233	0.010	-563.231	-1.773	7.773	0.007	100.000	1.351
4	-0.262	0.997	0.782	0.280	0.048	-382.707	-1.657	6.477	0.025	22.306	1.358
5	-0.266	0.993	0.820	0.252	0.025	-481.746	-1.726	7.201	0.015	41.302	1.353
6	0.198	-0.756	-0.576	0.293	0.056	-362.850	-1.641	6.289	0.027	19.390	1.361
7	-0.001	0.003	0.002	0.333	0.093	-246.493	-1.524	5.406	0.039	12.246	1.379
8	0.124	-0.461	-0.388	0.242	0.018	-513.317	-1.745	7.447	0.012	56.728	1.351
9	-0.183	0.693	0.540	0.281	0.045	-405.325	-1.674	6.586	0.024	23.537	1.358
10	-0.074	0.272	0.230	0.240	0.015	-535.102	-1.758	7.573	0.010	67.408	1.351
Maksimum	0.198	0.997	0.849	0.333	0.093	-246.493	-1.524	7.773	0.039	100.000	1.379
Minimum	-0.270	-0.756	-0.576	0.233	0.010	-563.231	-1.773	5.406	0.007	12.246	1.351
Ortalama	-0.095	0.352	0.294	0.267	0.037	-442.140	-1.692	6.889	0.019	43.785	1.357
Standart Sapma	0.165	0.619	0.503	0.030	0.024	94.4171	0.072	0.713	0.010	27.517	0.008

Elde edilen en iyi çözüm için kalibre edilen parametreler  $\theta_1 = 0.26$  ,  $\theta_2 = -0.9679$  ,  $\theta_3 = -0.806$  ,  $\alpha_1 = 0.2469$  ,  $\alpha_2 = 0.2469$  ,  $\alpha_3 = -502.1998$  ,  $\alpha_4 = -1.7386$  ,  $K = 7.346$  ,  $x = 0.013$  ve  $m = 49.0624$  şeklindedir. Tablo (5.2)' de giriş, gözlenen ve hesaplanan çıkış hidrografi değerlerinin her zaman adımında değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.2: Wilson taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri

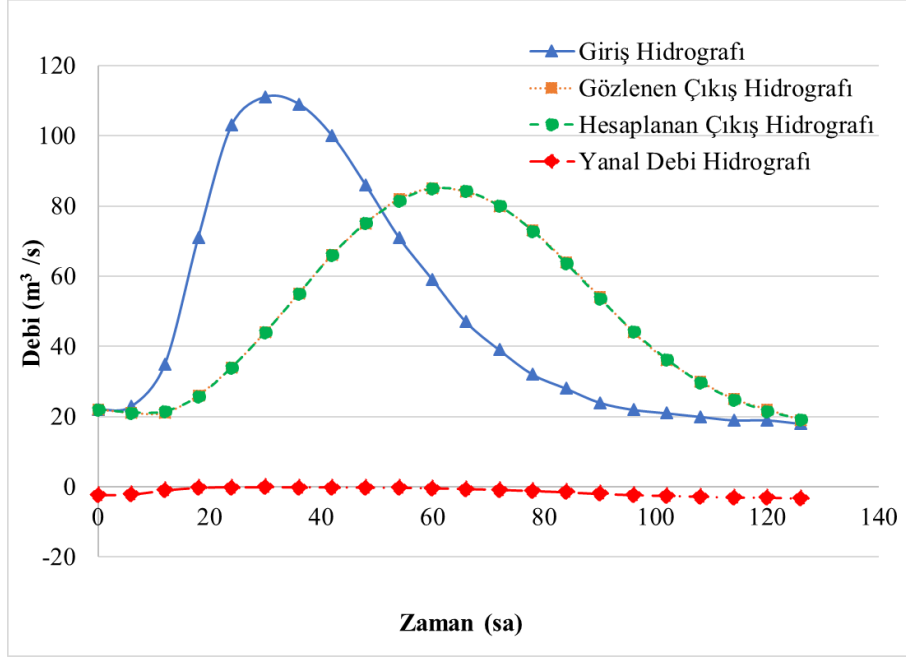
Zaman Aralığı (sa)	Giriş Hidrografi Değerleri (m <sup>3</sup> /sa)	Gözlenen Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)	Hesaplanan Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)
0	22.00	22.00	22.00
6	23.00	21.00	21.16
12	35.00	21.00	21.46
18	71.00	26.00	25.76
24	103.00	34.00	34.04
30	111.00	44.00	43.97
36	109.00	55.00	54.94
42	100.00	66.00	66.14
48	86.00	75.00	75.19
54	71.00	82.00	81.59
60	59.00	85.00	84.99
66	47.00	84.00	84.32
72	39.00	80.00	80.07
78	32.00	73.00	72.93
84	28.00	64.00	63.69
90	24.00	54.00	53.76
96	22.00	44.00	44.33
102	21.00	36.00	36.35
108	20.00	30.00	29.73
114	19.00	25.00	24.90
120	19.00	22.00	21.57
126	18.00	19.00	19.25

Önerilen modelin çözülerek, gözlenen ve hesaplanan çıkış hidrografi değerlerinin farkları kareleri toplamı değeri literatürdeki mevcut sonuçlar ile Tablo (5.3)' de kıyaslanmıştır.

Tablo 5.3: Wilson taşkın verisi çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması

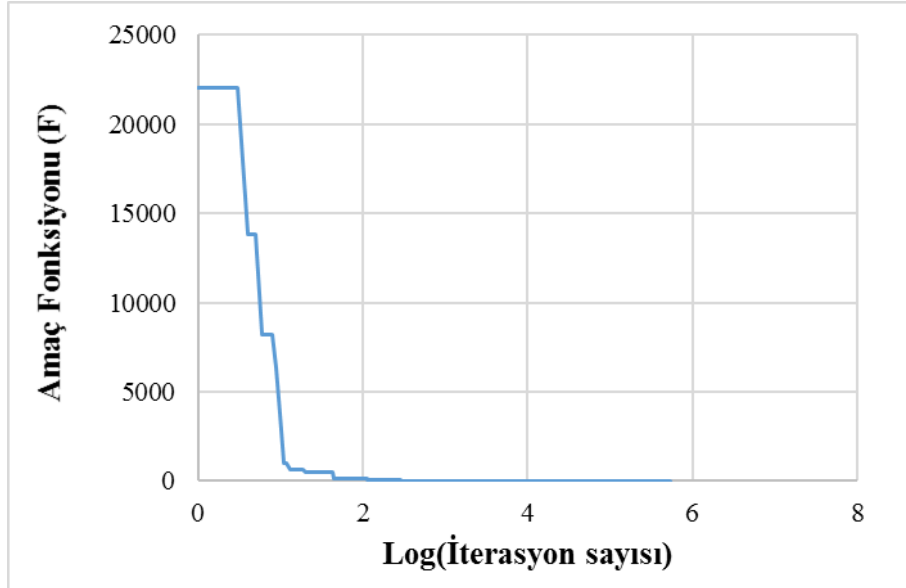
Metot	Parametre Sayısı	FKT
Gill (1978)	3	143.60
Tung (1985)	3	99.59
Mohan (1997)	3	38.23
Kim ve diğ., (2001)	3	36.78
Das (2004)	3	130.49
Geem (2006)	3	36.77
Chu ve Chang (2009)	3	36.89
Luo ve Xie (2010)	3	36.80
Geem (2010)	3	36.77
Xu ve diğ. (2011)	3	36.77
Karahan ve diğ. (2013)	3	36.76
Hirpurkar ve Ghare (2014)	3	178.82
Niazkar ve Afzali (2015a)	3	36.24
Haddad ve diğ. (2015a)	4	7.54
Kang ve diğ. (2017)	4	7.58
Karahan ve diğ. (2015)	5	9.82
Vatankhah (2014)	5	26.78
Easa (2015)	5	16.57
Easa ve diğ. (2014)	6	5.44
Niazkar ve Afzali (2016)	6	4.95
NLMM-L-10P	10	1.35

Önerilen model ve literatürde verilen modellerin amaç fonksiyonu değerlerine bakıldığında en iyi sonucu veren modelin NLMM-L-10P olduğu görülmektedir. Önerilen NLMM-L-10P modelinde Niazkar ve Afzali (2016) tarafından önerilen modele göre %72.7 oranında bir iyileşme sağlamıştır. Wilson veri seti için giriş hidrografi, çıkış hidrografi ve hesaplanan çıkış ve yanal debisi hidrografları grafik şeklinde Şekil (5.1)' de sunulmuştur.



Şekil 5.1: Wilson taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları

Şekil (5.2)' de sunulan şekilden de anlaşılacağı gibi geliştirilen optimizasyon modeli Wilson veri seti için optimuma yakın sonuçlar elde edilmiştir. Şekil (5.2)' de iterasyon sayısı logaritmik olarak verilmiştir.



Şekil 5.2: Wilson veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi



## 5.2 İkinci Uygulama

İkinci uygulama da Wye verileri kullanılmıştır. Wye Nehri, herhangi bir yan kolu olmaksızın Erwood'dan Belmont'a kadar 69.75 km boyunca uzanmaktadır. Nehrin çok sınırlı miktarda bir yanal debi girişi vardır. Bu sebepten ötürü Muskingum taşkın öteleme kullanımında gösterilebilir (Bajracharya ve Barry 1997). Wye düzgün olmayan tek pikli hidrograftır. Bu taşkın verisi seti 6 saatlik arayla verilmiş 33 adet giriş ve çıkış taşkın hidrografı değerine sahiptir.

Wye için ise dizayn parametrelerinin aralıkları  $\alpha_1 = [0,7]$  ,  $\alpha_2 = [0,4]$  ,  $\alpha_3 = [0,1]$  ,  $\alpha_4 = [0,1]$  ,  $\theta_1 = [0,1]$  ,  $\theta_2 = [0,1]$  ,  $\theta_3 = [0,1]$  ,  $K = [0,5]$  ,  $x = [0,0.1]$  ve  $m = [0,1]$  şeklinde seçilmiştir. Wye veri seti içinde belirlenen bu kısıtlar için on deneme yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde her bir parametre için hesaplanan değerler ve ayrıca her bir analiz için hesaplanan parametre değerlerinin minimum, maksimum, ortalama değerleri ve standart sapması hesaplanıp Tablo (5.4)' te sunulmuştur.

Tablo 5.4: Wye veri seti için yapılan denemeler

Denemeler	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$K_1$	$x_1$	$m_1$	$f(x)$
1	0.320	0.076	0.960	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
2	0.010	0.002	0.029	5.996	3.244	0.102	0.924	4.496	5.20E-09	0.360	10357.541
3	0.334	0.079	1.000	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
4	0.334	0.079	1.000	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
5	0.334	0.079	1.000	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
6	0.309	0.073	0.926	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
7	0.334	0.079	1.000	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
8	0.312	0.074	0.934	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
9	0.332	0.079	0.995	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
10	0.319	0.075	0.955	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
Maksimum	0.334	0.079	1.000	5.996	3.244	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
Minimum	0.010	0.002	0.029	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.20E-09	0.360	10357.541
Ortalama	0.294	0.069	0.880	5.995	3.243	0.102	0.924	4.496	5.21E-09	0.360	10357.541
Standart Sapma	0.095	0.023	0.285	2.65E-04	1.61E-04	6.65E-06	1.10E-05	1.31E-04	3.7E-12	1.76E-05	1.06E-05

Elde edilen en iyi çözüm için kalibre edilen parametreler  $\theta_1 = 0.319$  ,  $\theta_2 = 0.075$  ,  $\theta_3 = -0.955$  ,  $\alpha_1 = 5.995$  ,  $\alpha_2 = 3.243$  ,  $\alpha_3 = 0.102$  ,  $\alpha_4 = 0.924$  ,  $K = 4.496$  ,  $x = 5.21 \times 10^{-9}$  ve  $m = 0.360$  şeklindedir. Tablo (5.5)' te Wye taşkın verisi için giriş, gözlenen ve hesaplanan çıkış hidrografi değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.5: Wye taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri

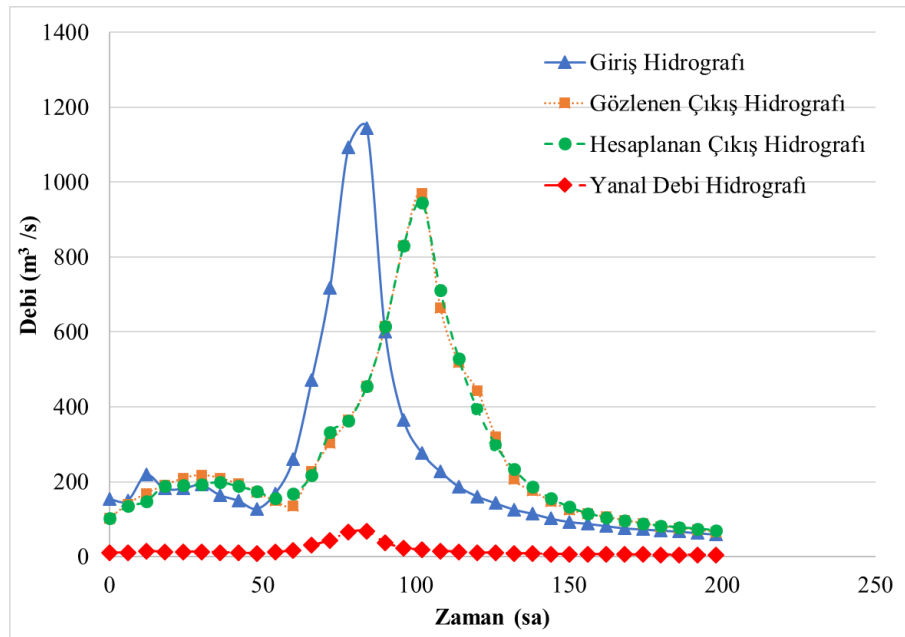
Zaman Aralığı (sa)	Giriş Hidrografi Değerleri (m <sup>3</sup> /sa)	Gözlenen Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)	Hesaplanan Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)
0	154.00	102.00	102.00
6	150.00	140.00	134.74
12	219.00	169.00	147.28
18	182.00	190.00	189.66
24	182.00	209.00	190.82
30	192.00	218.00	193.30
36	165.00	210.00	199.03
42	150.00	194.00	188.19
48	128.00	172.00	175.22
54	168.00	149.00	156.58
60	260.00	136.00	167.74
66	471.00	228.00	217.31
72	717.00	303.00	332.09
78	1092.00	366.00	363.49
84	1145.00	456.00	455.95
90	600.00	615.00	614.55
96	365.00	830.00	830.26
102	277.00	969.00	945.71
108	227.00	665.00	711.33
114	187.00	519.00	528.95
120	161.00	444.00	394.17
126	143.00	321.00	298.76
132	126.00	208.00	233.27
138	115.00	176.00	187.29
144	102.00	148.00	156.31
150	93.00	125.00	132.92
156	88.00	114.00	115.99
162	82.00	106.00	104.74
168	76.00	97.00	95.87
174	73.00	89.00	88.19
180	70.00	81.00	82.85
186	67.00	76.00	78.63
192	63.00	71.00	74.94
198	59.00	66.00	70.89

Tablo (5.6)' ya bakıldığında Wye taşkın verisi için kalibrasyonu sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değerlerine bakıldığında en iyi sonucu veren NLMM-L-10P olduğu görülmektedir.

Tablo 5.6: Wye taşkın verisi çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması

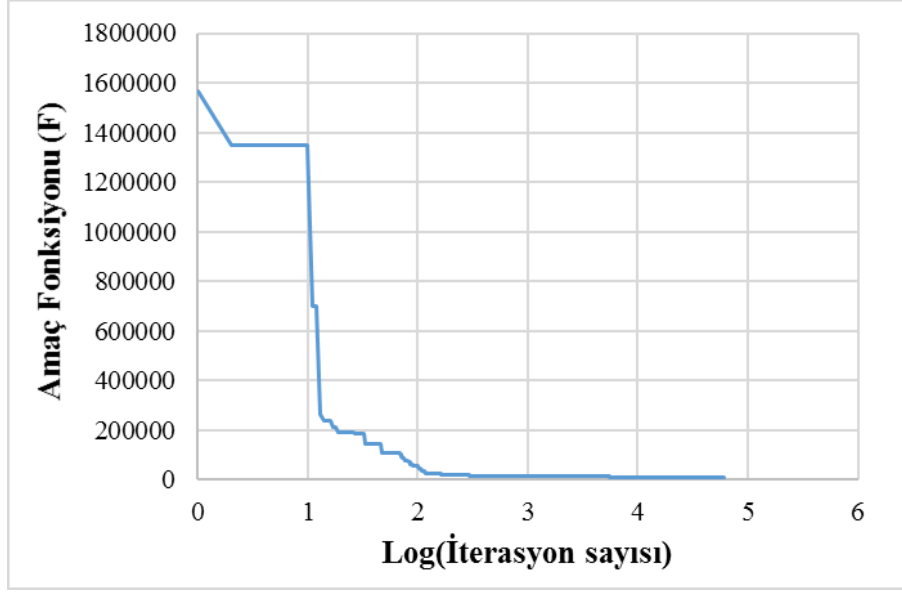
Metot	Parametre Sayısı	FKT
Haddad ve diğ. (2015a)	4	31346
Kang ve diğ. (2017)	4	23344
Karahan ve diğ. (2015)	5	25915
Niazkar ve Afzali (2016)	7	30897
NLMM-L-10P	10	10358

Literatürdeki Kang ve diğ. (2017)' nin yaptığı çalışmaya göre %55.6 oranında iyileşme sağlamıştır. Wye veri seti için giriş, gözlenen ve hesaplanan çıkış ve yanal debisinin hidrografları grafiksel gösterimi Şekil (5.2)'de sunulmuştur.



Şekil 5.3: Wye taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları

Şekil (5.4)' de sunulan şekilden de anlaşılacağı gibi geliştirilen optimizasyon modeli Wye veri seti için optimuma yakın sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.4: Wye veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi

### 5.3 Üçüncü Uygulama

Üçüncü uygulamada Wye taşkın verisi kullanılmıştır. Wye taşkın verisi incelendiğinde çıkış hidrografi hacminin giriş hidrografi hacmine göre önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Ayrıca giriş hidrografının çift pikli olduğu görülmektedir (O'Donnell 1985). Wye taşkın verisi seti 1 saatlik arayla verilmiş 31 adet giriş ve çıkış taşkın hidrografi değerine sahiptir.

Wye için ise dizayn parametrelerinin aralıkları  $\alpha_1 = [0, 2]$  ,  $\alpha_2 = [0, 2]$  ,  $\alpha_3 = [0, 4]$  ,  $\alpha_4 = [0, 2]$  ,  $\theta_1 = [-2, 2]$  ,  $\theta_2 = [-2, 2]$  ,  $\theta_3 = [-2, 2]$  ,  $K = [0, 10]$  ,  $x = [-1, 1]$  ve  $m = [0, 2]$  şeklinde seçilmiştir. Wye veri seti içinde belirlenen bu kısıtlar için on deneme yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde her bir parametre için hesaplanan değerleri ile her bir analiz için hesaplanan parametre değerlerinin minimum, maksimum, ortalama değerleri ve standart sapması hesaplanıp Tablo (5.7)'de sunulmuştur.

Tablo 5.7: Wyre veri seti için yapılan denemeler

Denemeler	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$K_1$	$x_1$	$m_1$	$f(x)$
1	1.70E-03	1.862	0.729	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
2	1.24E-03	1.361	0.533	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
3	4.38E-04	0.479	0.187	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
4	1.43E-03	1.565	0.613	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
5	2.96E-04	0.324	0.127	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
6	-1.72E-03	-1.930	-0.755	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
7	-1.72E-03	-1.880	-0.736	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
8	-1.82E-03	-1.995	-0.781	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
9	-1.79E-03	-1.959	-0.767	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
10	-8.52E-04	-0.941	-0.368	1.374	1.436	3.072	0.935	4.557	0.276	0.709	21.264
Maksimum	1.70E-03	1.862	0.729	1.375	1.436	3.072	0.935	4.557	0.276	0.709	21.264
Minimum	-1.82E-03	-1.995	-0.781	1.374	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
Ortalama	-2.79E-04	-0.312	-0.122	1.375	1.436	3.071	0.935	4.556	0.276	0.709	21.264
Standart Sapma	1.38E-03	1.520	0.595	1.80E-04	2.05E-04	4.10E-04	4.46E-05	3.82E-04	9E-06	8.54E-05	3.55E-15

Elde edilen en iyi çözüm için kalibre edilen parametreler  $\theta_1 = -8.52E - 04$  ,  $\theta_2 = -0.941$  ,  $\theta_3 = -0.368$  ,  $\alpha_1 = 1.374$  ,  $\alpha_2 = 1.436$  ,  $\alpha_3 = 3.071$  ,  $\alpha_4 = 0.935$  ,  $K = 4.557$  ,  $x = 0.276$  ve  $m = 0.709$  şeklindedir. Her zaman aralığı için giriş, gözlenen ve hesaplanan çıkış değerleri Tablo (5.8)' te sunulmuştur.

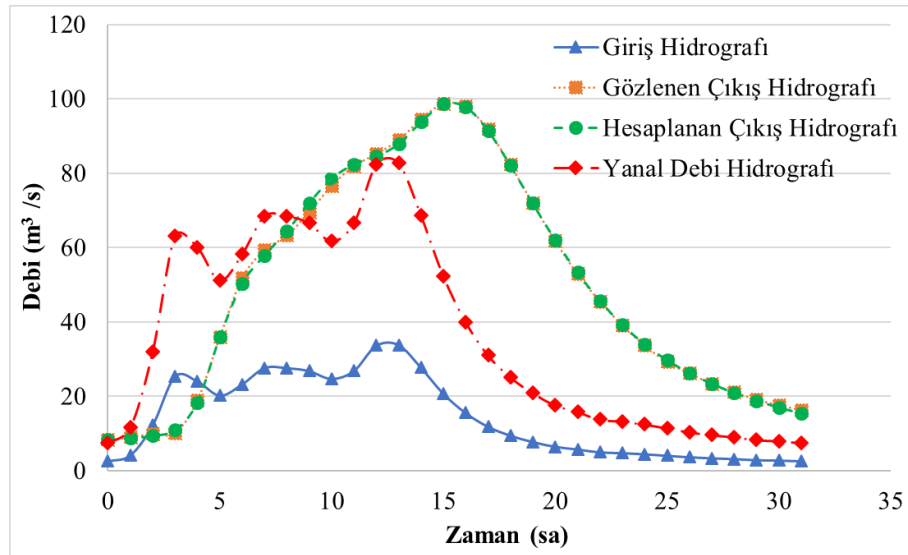
Tablo 5.8: Wyre taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri

Zaman Aralığı (sa)	Giriş Hidrografi Değerleri (m <sup>3</sup> /sa)	Gözlenen Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)	Hesaplanan Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)
0	2.60	8.30	8.30
1	4.20	9.00	8.82
2	12.30	9.90	9.41
3	25.40	10.20	11.04
4	24.10	18.90	18.44
5	20.30	35.90	36.00
6	23.30	51.80	50.31
7	27.70	59.40	57.97
8	27.70	63.30	64.46
9	26.90	69.60	72.05
10	24.80	76.70	78.58
11	26.90	82.00	82.45
12	33.70	85.30	84.59
13	33.90	89.00	87.87
14	27.80	94.60	93.76
15	20.80	98.80	98.63
16	15.60	98.00	97.83
17	11.90	91.80	91.47
18	9.50	82.30	82.10
19	7.80	72.00	71.92
20	6.50	61.90	62.17
21	5.80	53.00	53.38
22	5.00	45.60	45.80
23	4.80	39.20	39.36
24	4.50	33.80	34.08
25	4.10	29.30	29.81
26	3.70	26.20	26.36
27	3.40	23.50	23.45
28	3.20	21.20	20.97
29	2.90	19.20	18.85
30	2.80	17.70	17.05
31	2.60	16.40	15.52

Tablo 5.9: Wyre taşkın verisi çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması

Metot	Parametre Sayısı	FKT
O'Donnell (1985)	3	815.68
Karahan ve diğ., (2015)	5	53.65
NLMM-L-10P	10	21.26

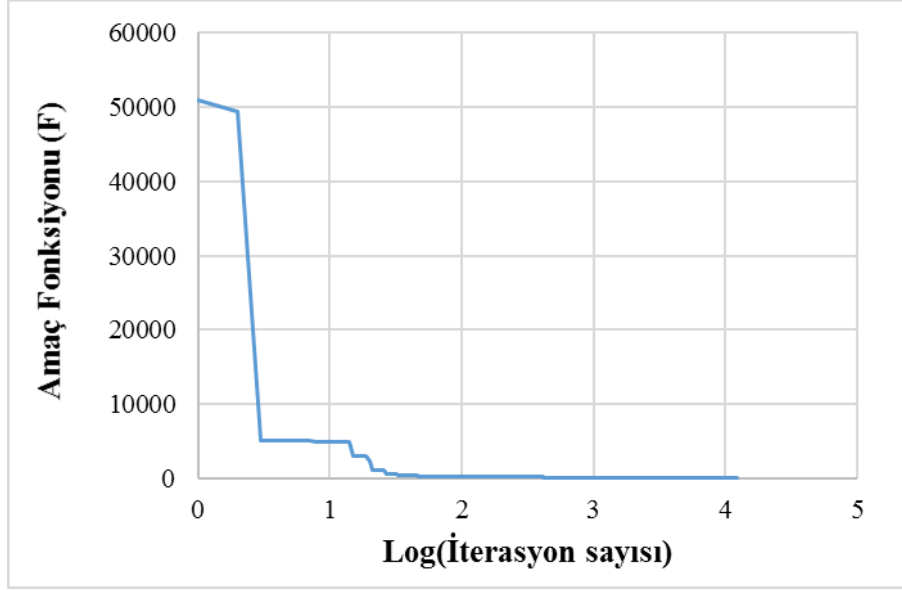
Wyre taşkın verisi için kalibrasyonu sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değerlerine bakıldığında en iyi sonucu veren NLMM-L-10P olduğu görülmektedir. Literatürdeki Karahan ve diğ., (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre %60.3 oranında iyileşme sağlamıştır. Wyre veri seti için giriş, gözlenen ve hesaplanan çıkış ve yanal debinin hidrografları grafiksel gösterimi Şekil (5.3)' te sunulmuştur.



Şekil 5.5: Wyre taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları

Şekil (5.6)' da sunulan grafikten de anlaşılacağı gibi geliştirilen optimizasyon modeli Wyre veri setinin yüksek yanal debi etkisine rağmen optimuma yakın sonuçlar elde edilmiştir.





Şekil 5.6: Wyre veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi

#### 5.4 Dördüncü Uygulama

Son olarak dördüncü uygulamada Viessman ve Lewis taşkın verisi kullanılmıştır. Bu taşkın verisi çok pikli bir hidrograf olup 1 saatlik zaman aralığı ile 23 veriden oluşmaktadır.

Viessman ve Lewis taşkın verisi için dizayn parametrelerinin aralıkları  $\alpha_1 = [0, 2]$ ,  $\alpha_2 = [0, 2]$ ,  $\alpha_3 = [0, 2]$ ,  $\alpha_4 = [0, 1]$ ,  $\theta_1 = [-2, 2]$ ,  $\theta_2 = [-2, 2]$ ,  $\theta_3 = [-2, 2]$ ,  $K = [0, 10]$ ,  $x = [0, 1]$  ve  $m = [0, 4]$  şeklinde seçilmiştir. Viessman ve Lewis veri seti içinde belirlenen bu kısıtlar için on deneme yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde her bir parametre için hesaplanan değerleri ile her bir analiz için hesaplanan parametre değerlerinin minimum, maksimum, ortalama değerleri ve standart sapması hesaplanıp Tablo (5.10)' da sunulmuştur.

Tablo 5.10: Viessman ve Lewis veri seti için yapılan denemeler

Denemeler	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$K_1$	$x_1$	$m_1$	$f(x)$
1	-0.490	1.999	1.908	0.347	0.407	0.748	4.60E-10	0.476	0.571	3.109	29582.808
2	0.490	-1.998	-1.908	0.347	0.407	0.748	6.85E-13	0.476	0.571	3.109	29582.808
3	-0.488	1.991	1.901	0.347	0.407	0.748	3.21E-10	0.476	0.571	3.109	29582.808
4	-0.428	1.746	1.667	0.347	0.407	0.748	3.58E-10	0.476	0.571	3.110	29582.808
5	-0.404	1.647	1.572	0.347	0.407	0.748	5.65E-11	0.476	0.571	3.109	29582.808
6	-0.490	1.999	1.908	0.347	0.407	0.748	1.95E-09	0.476	0.571	3.109	29582.808
7	-0.093	0.378	0.361	0.347	0.407	0.748	1.32E-09	0.476	0.571	3.109	29582.808
8	-0.483	1.970	1.880	0.347	0.407	0.748	5.57E-09	0.476	0.571	3.109	29582.808
9	-0.433	1.768	1.688	0.346	0.407	0.748	1.43E-09	0.476	0.571	3.115	29582.808
10	0.008	-0.032	-0.030	0.347	0.407	0.748	4.32E-09	0.476	0.571	3.109	29582.808
Maksimum	0.490	1.999	1.908	0.347	0.407	0.748	5.57E-09	0.476	0.571	3.115	29582.808
Minimum	-0.490	-1.998	-1.908	0.346	0.407	0.748	6.85E-13	0.476	0.571	3.109	29582.808
Ortalama	-0.281	1.147	1.095	0.347	0.407	0.748	1.58E-09	0.476	0.571	3.110	29582.808
Standart Sapma	0.307	1.253	1.196	2.09E-04	2.37E-04	1.09E-04	1.81E-09	3.35E-05	4.81E-05	0.002	1.68E-05

Elde edilen en iyi çözüm için kalibre edilen parametreler  $\theta_1 = -0.433$  ,  $\theta_2 = 1.768$  ,  $\theta_3 = 1.688$  ,  $\alpha_1 = 0.346$  ,  $\alpha_2 = 0.407$  ,  $\alpha_3 = 0.748$  ,  $\alpha_4 = 1.43E - 09$  ,  $K = 0.476$  ,  $x = 0.571$  ve  $m = 3.115$  şeklindedir. Giriş, gözlenen ve hesaplanan çıkış hidrografi değerleri her bir zaman aralığı için Tablo (5.11)'de sunulmuştur.

Tablo 5.11: Viessman ve Lewis taşkın verisi için giriş ve çıkış hidrografi değerleri

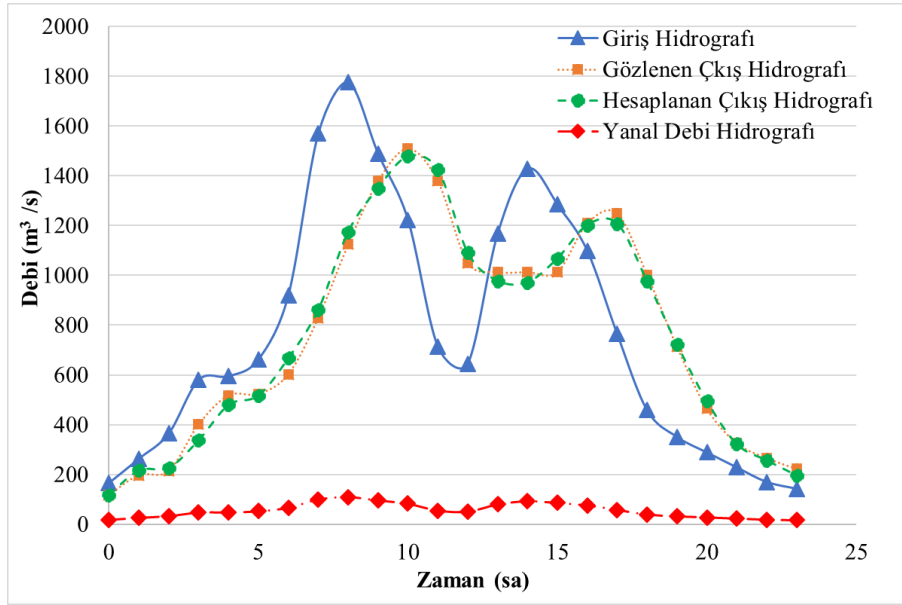
Zaman Aralığı (sa)	Giriş Hidrografi Değerleri (m <sup>3</sup> /sa)	Gözlenen Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)	Hesaplanan Çıkış Hidrografi (m <sup>3</sup> /sa)
0	166.2	118.4	118.4
1	263.6	197.4	216.5
2	365.3	214.1	226.6
3	580.5	402.1	337.9
4	594.7	518.2	479.3
5	662.6	523.9	517.1
6	920.3	603.1	667.5
7	1568.8	829.7	861.9
8	1775.5	1124.2	1174.5
9	1489.5	1379	1350.0
10	1223.3	1509.3	1478.0
11	713.6	1379	1425.1
12	645.6	1050.6	1090.7
13	1166.7	1013.7	977.9
14	1427.2	1013.7	972.0
15	1282.8	1013.7	1067.6
16	1098.7	1209.1	1201.8
17	764.6	1248.8	1207.4
18	458.7	1002.4	976.8
19	351.1	713.6	722.7
20	288.8	464.4	494.7
21	228.8	325.6	321.9
22	170.2	265.6	256.4
23	143	222.6	196.7

Elde edilen en iyi sonuç ile literatürdeki diğer mevcut çalışmalarla tablo (5.12)'de birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Tablo 5.12: Viessman ve Lewis çözümünün literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılması

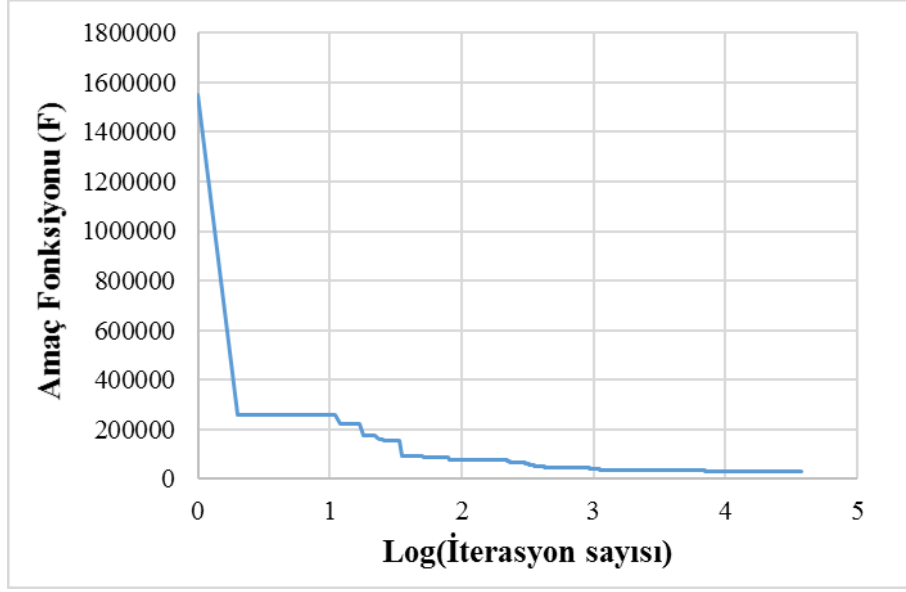
Metot	Parametre Sayısı	FKT
Moghaddam ve diğ. (2016)	4	74812
Kang ve diğ. (2017)	4	71789
Haddad ve diğ. (2015a)	4	73399
NLMM-L-10P	10	29583

Tablo (5.12)' de Viessman ve Lewis taşkın verisinin kalibrasyonu sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu değerlerine bakıldığında da diğer literatürdeki çalışmalara göre en iyi sonucu verenin NLMM-L-10P olduğu görülmektedir. Literatürdeki Kang ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmaya göre %58.8 oranında iyileşme sağlamıştır. Viessman ve Lewis taşkın verisi için giriş, gözlenen ve hesaplanan çıkış ve yanal debinin hidrografları grafiksel gösterimi Şekil (5.3)'te sunulmuştur.



Şekil 5.7: Viessman ve Lewis taşkın verisi için giriş, çıkış ve yanal debi hidrografları

Şekil (5.8)' den de anlaşılacağı gibi geliştirilen optimizasyon modeli Viessman ve Lewis veri seti için optimuma yakın sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.8: Viessman ve Lewis veri setinin amaç fonksiyonunun iterasyon sayısı ile değişimi

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında taşkın öteleme problemlerinde en çok kullanılan Muskingum yöntemi kullanılmıştır. Önerilen model doğrusal olmayan ve yanal debi etkisini dikkate alan yeni bir Muskingum modelidir. Model kalibrasyonunda guguk kuşu araştırma algoritması tercih edilmiştir. Önerilen model MATLAB (MATLAB 2009a) programında kodlanmış ve dört farklı veri setinin analizleri bu program ile gerçekleştirilmiştir. Her bir veri seti on defa çözümlenerek her parametrenin istatistikleri hesaplanmış ve ilgili tablolarda sunulmuştur.

Önerilen model sonuçları ile literatürdeki çalışmaların sonuçları kıyaslandığında, önerilen model sonuçlarının dört farklı veri seti için en iyi sonuçlar olduğu gözlemlenmiştir. Literatürdeki en iyi sonuçlar baz alındığında, Wilson veri seti için %72.7, Wye veri seti için %55.6, Wyre veri seti için %60.3 ve Viessman ve Lewis veri seti için %58.8 oranında bir iyileşme sağlandığı görülmüştür.

Literatürde verilen çalışmaların çoğunda, yanal debi etkisinin dikkate alınmadığı modeller kullanıldığı için önemli miktarda yanal debi içeren veri setleri üzerinde çalışılmadığı görülmüştür. Önerilen model ile yapılan analizlerde yanal debi etkisinin yüksek olduğu Wyre veri setinde sonuçları önemli derecede etkilediği görülmüştür. Önerilen modelin en büyük dezavantajı çok fazla parametreye sahip olması ve bu nedenle kalibrasyonunun daha zor olmasıdır. Buna karşın, literatürdeki değişken parametrelili modeller önerilen modele göre daha fazla parametre kullanmaktadır.

Taşkın öteleme problemlerinin çözümünde, Muskingum modelleri ile basitleştirilmiş hidrolik modellerin (kinematik ve difüzyon dalga modelleri) performanslarının karşılaştırılması daha sonraki çalışmalara bırakılmıştır.

## 7. KAYNAKLAR

Afzali, S. H., “Variable-parameter Muskingum model”, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 40(1), 59-68, (2016).

Al-Humoud, J. M. and Esen, I. I., “Approximate methods for the estimation of Muskingum flood routing parameters”, *Water Resources Management*, 20 (6), 979-990, (2006).

Ayvaz M. T., ve Gurarslan G., “A new partitioning approach for nonlinear muskingum flood routing models with lateral flow contribution”, *Journal of Hydrology*, (2017).

Bajracharya, K., and D. A. Barry., “Accuracy Criteria for Linearised Diffusion Wave Flood Routing”, *Journal of Hydrology*, 195, 200–217, (1997).

Barati, R., “Application of Excel Solver for parameter estimation of the nonlinear Muskingum models”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17 (5), 1139-1148, (2013).

Chanson, H., “The hydraulics of open channel flow: An introduction”, 2nd ed., Elsevier, Oxford, (2004).

Chow, V. T., “Open Channel hydraulics. McGraw-Hill”, New York, (1959).

Chu, H. J., and Chang, L. C., “Applying Particle Swarm Optimization to parameter estimation of the nonlinear Muskingum model”, *J. Hydrol. Eng.*, 14 (9), 1024–1027, (2009).

Cunge, J. A., “On the Subject of a Flood Propagation Computation Method (Muskingum Method), *J. Of Hydraulic Res.*, 7 (2), 205-230, (1969).

Das, A., “Parameter estimation for Muskingum models”, *J. Irrig. Drain Eng.*, 130 (2), 140–147, (2004).

Dikbayır S. “Guguk Kuşu Arama/Optimizasyon Algoritması”, <https://biryazilimciningunlugu.wordpress.com>, “Erişim tarihi: “17/07/2017 16:30”, (2017).

De Jong, K. D., “An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems”, Department of Computer and Communication Sciences, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA, (1975).

Easa, S. M., “Improved nonlinear Muskingum model with variable exponent parameter”, *J. Hydrol. Eng.*, 18 (12), 1790–1794, (2013a).

Easa, S. M., “New and improved four-parameter non-linear Muskingum model”, *Proc. ICE-Water Manage.*, 167 (5), 288–298, (2013b).

Easa, S. M., “Versatile Muskingum flood model with four variable parameters”, *Proc ICE-Water Manage.*, 168 (3), 139–148, (2014).

Easa, S. M., Barati, R., Shahheydari, E. J. N., Barati, T., “Discussion: New and improved four-parameter nonlinear Muskingum model”, *Proc ICE-Water Manage.*, 167 (10), 612–615, (2014).

Easa, S. M., “Evaluation of nonlinear Muskingum model with continuous and discontinuous exponent parameters”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1–10, (2015).

Gavilan, G., and Houck, M. H., “Optimal Muskingum river routing”, In: *Computer applications in water resources*, ASCE, 1294–1302, (1985).

Geem, Z., “Parameter estimation for the nonlinear Muskingum model using the BFGS technique”, *J. Irrigation. Drain Eng.*, 1270–1279, (2006).

Gill, M. A., “Flood routing by the Muskingum method”, *Journal of Hydrol.*, 36, 353–363, (1978).



Gürarlan, G., “Yeraltısuyu Kirletici Kaynak Yerlerinin Ve Boşalım Geçmişlerinin Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, 77 s., (2011).

Haddad O. B., Hamedi F., Fallah-Mehdipour E., Orouji H., Marino M. A., “Application of a hybrid optimization method in Muskingum parameter estimation”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, (2015a).

Haddad, O. B., Hamedi, F., Orouji, H., Pazoki, M., Lo’aiciga, H. A., “A re-parameterized and improved nonlinear Muskingum model for flood routing”, *Water Resource Manage*, 29 (9), 3419–3440, (2015b).

Hirpurkar, P., and Ghare, A.D., “Parameter Estimation for The Nonlinear Forms of The Muskingum Model”, *J. Hydrol. Eng.*, 20 (8), (2014).

Hosseini, S. M., “Application of spreadsheets in developing flexible multiple-reach and multiple-branch methods of Muskingum flood routing”, *Computer Application Eng. Edu.*, 17(4):448–454, (2009).

Kang, L., Zhou, L., Zhang, S., “Parameter Estimation of Two Improved Nonlinear Muskingum Models Considering the Lateral Flow Using a Hybrid Algorithm”, *Water Resour Manage*, Springer, (2017).

Karahan, H., Gurarlan G., Geem, Z. W., “Parameter estimation of the nonlinear Muskingum flood-routing model using a hybrid harmony search algorithm”, *J. Hydrol. Eng.*, 18, 352–360, (2013).

Karahan, H., Gurarlan, G., Geem, Z. W., “A new nonlinear Muskingum flood routing model incorporating lateral flow”, *Eng. Optimization*, 47, 737–749, (2015).

Kaveh, A., ve Bakhshpoori, T., “Optimum design of steel frames using Cuckoo Search algorithm with Lévy flights,” *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22 (13), 1023–1036, (2013).

Kim, J. H., Geem, Z. W., and Kim, E. S., “Parameter estimation of the nonlinear Muskingum model using harmony search”, *Journal of the American Water Resources Association*, 37 (5), 1131-1138, (2001).

Koussis, A. D., “An Approximate Dynamic Flood Routing Method”, *Proc. Of Int. Symp. On Unsteady Flow in Open Channels*, Newcastle-Upon-Tyne, UK, (1976).

Koussis, A. D., “Theoretical Estimation of Flood Routing Parameters”, *J. Of Hydraulic Div.*, ASCE, 104, 109-115, (1978).

Linsley, R. K., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L. H., “Hydrology for engineers”, McGraw- Hill, New York, (1982).

Luo, J., and Xie, J., “Parameter estimation for nonlinear muskingum model based on immune clonal selection algorithm”, *J. Hydrol. Eng.*, 15, 844–851, (2010).

MATLAB, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States, (2009a).

Microsoft Excel Help Files, “A algorithm and Methods used by Solver”, Microsoft Corporation, (1997).

McCarthy, G. T., “The unit hydrograph and flood routing”, In: *Proceeding of the Conference of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineer District*”, Wahsington, D.C., (1938).

Moghaddam, A., Behmanesh, J., Farsijani, A., “Parameters estimation for the new four-parameter nonlinear Muskingum model using the particle swarm optimization”, *Water Resource Manage*, 30:2143–2160, (2016).

Mohan, S., “Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using genetic algorithm”, *J. Hydraul. Eng.*, 123 (2), 137–142, (1997).

NERC., “Flood studies report”, vol 3., Institute of Hydrology, Wallingford, (1975).

Niazkar, M., and Afzali, S. H., “Assessment of Modified Honey Bee Mating Optimization for parameter estimation of nonlinear Muskingum models”, *J. Hydrol. Eng.*, 20 (4), (2015a).

Niazkar, M., and Afzali, S. H., “Application of New Hybrid Optimization Technique for Parameter Estimation of New Improved Version of Muskingum Model”, *Water Resource Manage.*, (2016).

Niazkar, M., and Afzali, S. H., “New Nonlinear Variable-parameter Muskingum Models”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, (2017).

O'Donnell, T. A., “Direct three-parameter Muskingum procedure incorporating lateral inflow”, *Hydrol. Sci.*, 30, 479–496, (1985).

Pavlyukevich, I., “Lévy flights, non-local search and simulated annealing”, *J. Comput. Phys.*, 226, 1830–1844, (2007).

Perumal, M., and Price, R.K., “A fully volume conservative variable parameter McCarthy-Muskingum method: theory and verification”, *J. Hydrol.*, 502, 89–102, (2013).

Perumal, M., Tayfur, G., Rao, C. M., Gurarslan, G., “Evaluation of a physically based quasi-linear and a conceptually based nonlinear Muskingum methods”, *Journal of Hydrology*, 546, 437-449, (2017).

Roberson, J. A., Cassidy, J. J., and Chaudhry, M. H., *Hydraulic Engineering*, Houghton Mifflin Company, Boston, (1988).

Subramanya, K. “Flow In Open Channels”, 3rd ed., New Delhi: Tata Mc. Grow- Hill, (2009).

Szymkiewicz, R., “Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics”, *Water Science and Technology Library*, (2010).

Tung, Y. K., “River flood routing by nonlinear Muskingum method”, *J. Hydraul. Eng.*, 111 (12), 1447–1460, (1985).

Usul N., “Mühendislik Hidrolojisi”, 2.basım, Ankara, Syf: 233, (2008).

Ülke, A., “Muskingum Metodu Kullanılarak Taşkın Ötelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı*, 93 s., (2003).

Vatankhah, A. R., “Discussion of parameter estimation of the nonlinear Muskingum flood-routing model using a hybrid Harmony Search algorithm by Halil Karahan, Gurhan Gurarslan, and Zong Woo Geem”, *J. Hydrol. Eng.*, 19 (4), 839–842, (2014).

Viessman, W, Lewis, G. L., “Introduction to hydrology”, Prentice Hall India (P) Limited., New Jersey, (2003).

Viswanathan, G.M., Buldyrev, S.V., Havlin, S., Da Luz., M.G.E., Raposo, E.P., Stanley., “H.E.:Optimizing the success of random searches”, 401, 911–914, (1999).

Walton, S., Hassan, O., Morgan, K., and Brown, M. R., “Modified cuckoo search: a new gradient free optimisation algorithm,” *Chaos, Solitons and Fractals*, 44 (9), 710–718, (2011).

Weinmann, P. E., and E. M. Laurenson., “Approximate Flood Routing Methods: A Review”, *J. Of Hydraulic Div.*, ASCE 105 (HY2), 1521-1535, (1979).

Wilson, E. M., “Engineering Hydrology”, Macmillan Book Company, London, (1974).

Xu, D. M., Qiu, L., and Chen, S. Y., “Estimation of nonlinear Muskingum model parameter using Differential Evolution”, *J. Hydrol. Eng.*, 17(2):348–353, (2011).

Yang, X. S., ve Deb, S., “Cuckoo search via Lévy flights”, In: Proceedings of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing , 210–214, IEEE Publications, USA, (2009).

Yang, X. S., ve Deb, S., “Engineering optimization by cuckoo search”, *Int. J. Math. Model. Num. Opt.*, 1(4):330–343, (2010).

Yang, X. S., ve Deb, S., “Multiobjective cuckoo search for design optimization”, *Comput. Oper. Res.*, 40(6):1616–1624, (2013).

Yasar, M., “Optimization of Reservoir Operation Using Cuckoo Search Algorithm: Example of Adiguzel Dam, Denizli, Turkey”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, (2016).

Zahara, E., Kao, Y.T., “Hybrid Nelder-Mead Simplex Search and Particle Swarm Optimization for Constrained Engineering Design Problems”, *Expert Systems with Applications*, 36, 3880-3886, (2009).

Zhang, S., Kang L., Zhou, L., and Guo, X., “A new modified nonlinear Muskingum model and its parameter estimation using the adaptive genetic algorithm”, *Hydrology Research*, (2016).

# EKLER

## 8. EKLER

### EK A Optimizasyon Modelinin Testi

Bu bölümde Guguk kuşu araştırma algoritmasının performansı 5 kısıtlı ve 5 kısıtsız optimizasyon problemi üzerinde test edilmiştir (Gürarlan 2011). Gerçekleştirilen bütün kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon problemlerinde yuva sayısı 20 seçilmiştir.

#### EK A.1 Kısıtsız 1.Test Fonksiyonu

İlk test fonksiyonu muz fonksiyonu olarak da bilinen Rosenbrock fonksiyonudur. Rosenbrock fonksiyonu klasik bir test problemidir. Global optimum uzun, dar, parabolik şekilli düz bir vadi içerisindedir. Bu vadiye ulaşmak kolay olmasına rağmen bu vadi içerisindeki global optimuma yaklaşmak oldukça zor olabilmektedir (De Jong 1975) Rosenbrock fonksiyonu optimizasyon algoritmalarının performansını test etmek için oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fonksiyon ve optimal çözümü aşağıdaki gibidir.

$$f(x) = \min \sum_{i=1}^{n-1} (100(x_i^2 - x_{i+1}) + (1 - x_i)^2), \quad n = 2 \quad (\text{A.1})$$

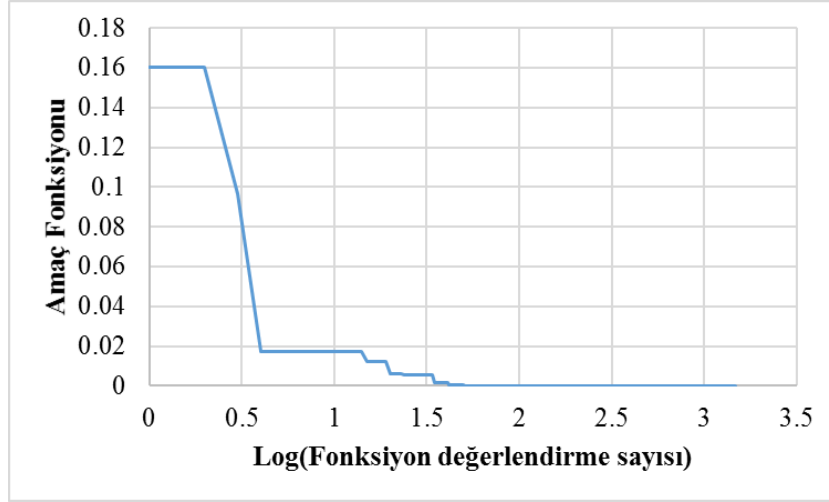
$$-5 \leq x_i \leq 10, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{A.2})$$

$$x = [1, \dots, 1], \quad f(x) = 0 \quad (\text{A.3})$$

Rosenbrock fonksiyonunun  $n = 2$  için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.1'de verilmiştir. 1472 fonksiyon değerlendirme sayısı sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = (1, 1), \quad f(x^*) = 0 \quad (\text{A.4})$$

Şekil A.1’de görüldüğü üzere Rosenbrock fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir.



Şekil A.1: Kısıtsız 1. Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

## EK A.2 Kısıtsız 2. Test Fonksiyonu

Rastrigin fonksiyonu De Jong fonksiyonuna dayanan bir başka test fonksiyonudur. Sık yerel minimum üretmek amacıyla bir kosinüs modülünün eklendiği bir fonksiyondur. Bu nedenle çok sayıda minimuma sahiptir. Minimumların yerleri düzenli bir şekilde dağılmıştır. Fonksiyonun ve optimal çözümü aşağıda verilmektedir.

$$f(x) = \min \left[ 10n + \sum_{i=1}^n x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_{i+1}) \right], \quad n = 2 \quad (\text{A.5})$$

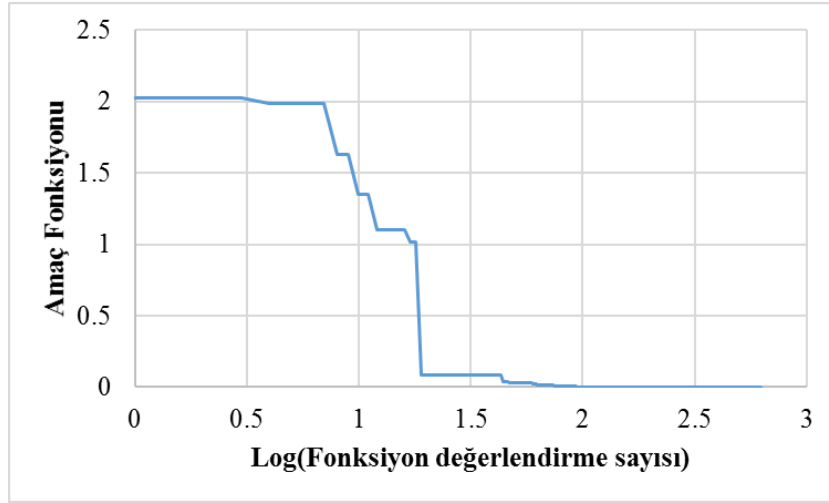
$$-5.12 \leq x_i \leq 5.12, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{A.6})$$

$$x = [0, \dots, 0], \quad f(x) = 0 \quad (\text{A.7})$$

Rastrigin fonksiyonunun için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.2’de verilmiştir. Şekil A.2’de görüldüğü üzere Rastrigin fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. 623 fonksiyon değerlendirme sayısı sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.



$$x^* = (1,52E-09, 2,26E-09), f(x^*) = 0 \quad (\text{A.8})$$



Şekil A.2: Kısıtsız 2. Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

### EK A.3 Kısıtsız 3. Test Fonksiyonu

Schwefel fonksiyonu bir başka test fonksiyonudur. Bu fonksiyon global minimumun bir sonraki en iyi yerel minimuma geometrik olarak uzak olmasından dolayı aldatıcı bir özelliği vardır. Bu sebeple, araştırma algoritmaları yanlış arama yönünde yakınsama zorluğu çekerler. Fonksiyonun ve optimal çözümü aşağıda verilmektedir.

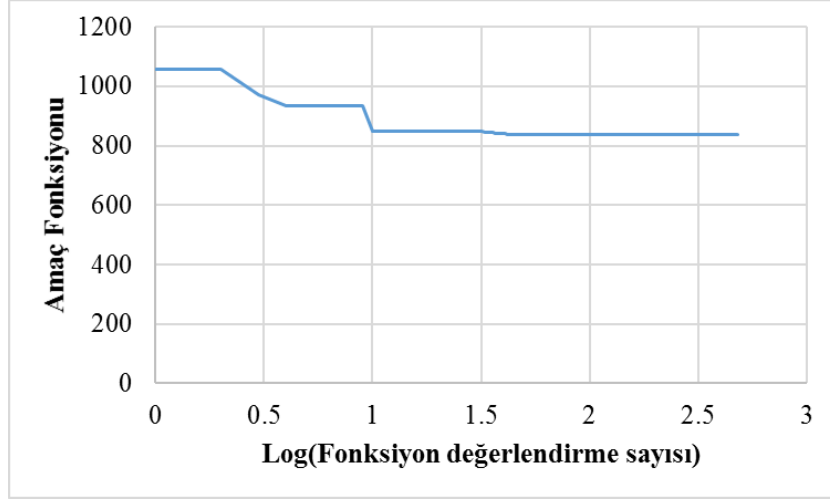
$$f(x) = \min \left[ 418.9829n + \sum_{i=1}^n x_i^2 \sin \left( \sqrt{|x_i|} \right) \right], \quad n = 2 \quad (\text{A.9})$$

$$-500 \leq x_i \leq 500, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{A.10})$$

$$x = [420.9687, \dots, 420.9687], \quad f(x) = 418.9829n \quad (\text{A.11})$$

Schwefel fonksiyonunun için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.3'de verilmiştir. Şekil A.3'de görüldüğü üzere Schwefel fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. 482 fonksiyon değerlendirme sayısı sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = (420.9687, 420.9687), \quad f(x^*) = 837.9658 \quad (\text{A.12})$$



Şekil A.3: Kısıtsız 3.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

#### EK A.4 Kısıtsız 4.Test Fonksiyonu

Griewank fonksiyonu Rastrigin fonksiyonu ile benzer özellik göstermektedir. Griewank fonksiyonu düzenli olarak dağılmış çok sayıda yerel minimuma sahiptir. Fonksiyonun ve optimal çözümü aşağıda verilmektedir.

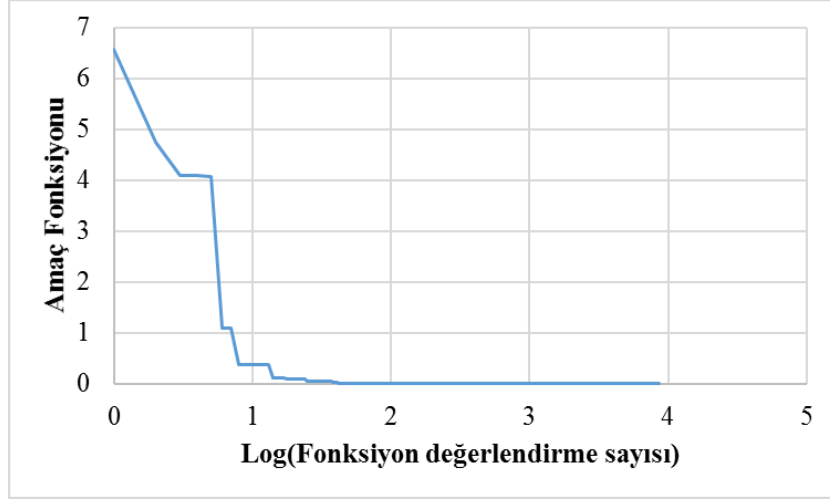
$$f(x) = \min \left[ \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1 \right], \quad n = 2 \quad (\text{A.13})$$

$$-600 \leq x_i \leq 600, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{A.14})$$

$$x = [0, \dots, 0], \quad f(x) = 0 \quad (\text{A.15})$$

Griewank fonksiyonunun için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.4'te verilmiştir. Şekil A.4'te görüldüğü üzere Griewank fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. 8641 fonksiyon değerlendirme sayısı sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

$$x^* = (6.52\text{E-}09, 5.32\text{E-}09), \quad f(x^*) = 0 \quad (\text{A.16})$$



Şekil A.4: Kısıtsız 4.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

### EK A.5 Kısıtsız 5.Test Fonksiyonu

Michalewicz fonksiyonu  $n!$  sayıda yerel minimuma sahip çok doruklu bir test fonksiyonudur. Fonksiyondaki  $m$  parametresi vadilerin ya da kenarların dikliğini tanımlamaktadır ve bu  $m$  değerleri büyüdükçe global minimuma ulaşılması zorlaşmaktadır. Fonksiyon, çok büyük  $m$  değerleri için samanlıkta bir iğne gibi davranır. Fonksiyonun tanımı ve optimal çözümü aşağıda verilmektedir.

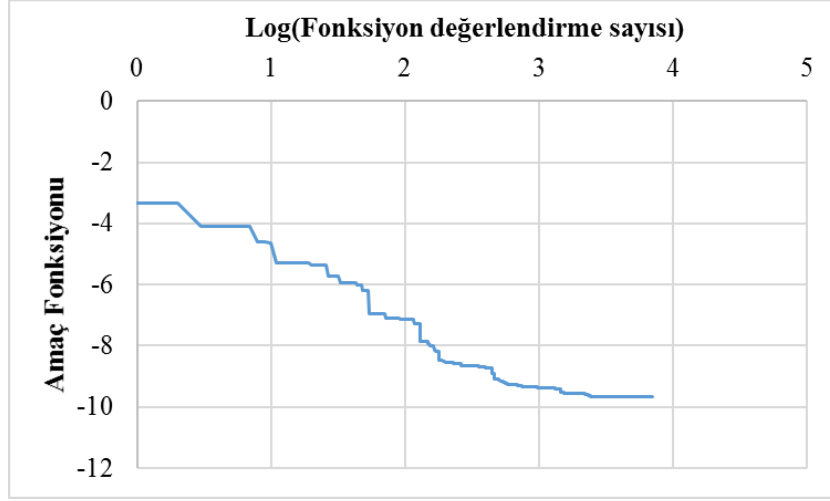
$$f(x) = \min \left[ -\sum_{i=1}^n \sin(x_i) \left( \sin\left(\frac{ix_i}{\pi}\right) \right)^{2m} \right], \quad m = 10, \quad n = 10 \quad (\text{A.17})$$

$$-600 \leq x_i \leq 600, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{A.18})$$

$$f(x) = -9.66015 \quad (\text{A.19})$$

Michalewicz fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.5'te verilmiştir. Şekil A.5'te görüldüğü üzere Michalewicz fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. 482 fonksiyon değerlendirme sayısı sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = \left( \begin{array}{l} 2.2029055187, 1.5707963282, 1.2849915720, \\ 1.9230584700, 1.7204697726, 1.5707963259, \\ 1.4544139713, 1.7560865214, 1.6557174162, \\ 1.5707963269 \end{array} \right), \quad f(x^*) = -9.6601517156 \quad (\text{A.20})$$



Şekil A.5: Kısıtsız 5.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

### EK A.6 Kısıtlı 1.Test Fonksiyonu

13 adet karar değişkeni ve 9 adet eşitsizlik kısıtını içeren ilk kısıtlı Minimizasyon problemi ve optimal çözümü aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } f(x) = \left[ 5 \sum_{i=1}^4 x_i - 5 \sum_{i=1}^4 x_i^2 - \sum_{i=5}^{13} x_i \right] \quad (\text{A.21})$$

$$g_1(x) = 2x_1 + 2x_2 + x_{10} + x_{11} - 10 \leq 0 \quad (\text{A.22})$$

$$g_2(x) = 2x_1 + 2x_3 + x_{10} + x_{11} - 10 \leq 0 \quad (\text{A.23})$$

$$g_3(x) = 2x_2 + 2x_3 + x_{11} + x_{12} - 10 \leq 0 \quad (\text{A.24})$$

$$g_4(x) = -8x_1 + x_{10} \leq 0 \quad (\text{A.25})$$

$$g_5(x) = -8x_2 + x_{11} \leq 0 \quad (\text{A.26})$$

$$g_6(x) = -8x_3 + x_{12} \leq 0 \quad (\text{A.27})$$

$$g_7(x) = -2x_4 - x_5 + x_{10} \leq 0 \quad (\text{A.28})$$

$$g_8(x) = -2x_6 - x_7 + x_{11} \leq 0 \quad (\text{A.29})$$

$$g_9(x) = -2x_8 - x_9 + x_{12} \leq 0 \quad (\text{A.30})$$

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, 9 \quad (\text{A.31})$$

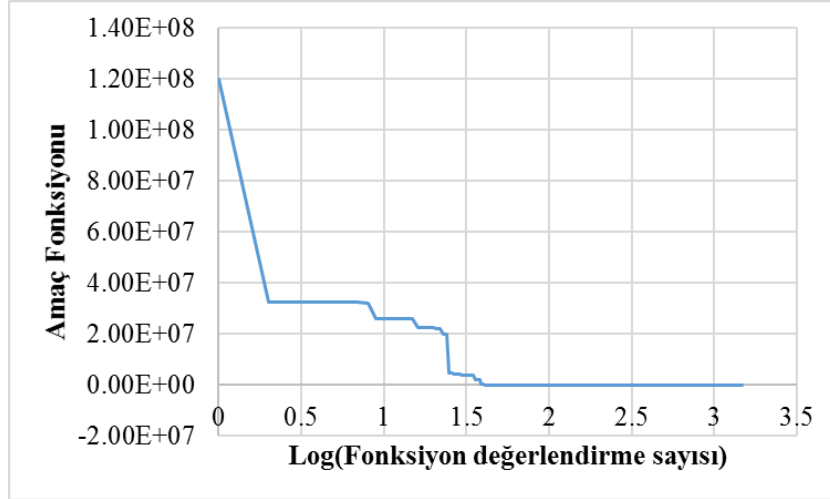
$$0 \leq x_i \leq 100, \quad i = 10, 11, 12 \quad (\text{A.32})$$

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 13 \quad (\text{A.33})$$

$$x = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 3, 3, 1), \quad f(x) = -15 \quad (\text{A.34})$$

Fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.6'da verilmiştir. Şekil A.6'da görüldüğü üzere fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. Değerlendirme sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 3, 3, 1), \quad f(x^*) = -15 \quad (\text{A.35})$$



Şekil A.6: Kısıtlı 1. Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

### EK A.7 Kısıtlı 2. Test Fonksiyonu

2 adet karar değişkeni ve 2 adet eşitsizlik kısıtını içeren minimizasyon problemi ve optimal çözümü aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } f(x) = [(x_1 - 10)^3 + (x_2 - 20)^3] \quad (\text{A.36})$$

$$g_1(x) = (x_1 - 5)^2 - (x_2 - 5)^2 + 100 \leq 0 \quad (\text{A.37})$$

$$g_2(x) = (x_1 - 6)^2 + (x_2 - 5)^2 + 100 \leq 0 \quad (\text{A.38})$$

$$0 \leq x_i \leq 100, \quad i = 10, 11, 12 \quad (\text{A.39})$$

$$13 \leq x_1 \leq 100 \quad (\text{A.40})$$

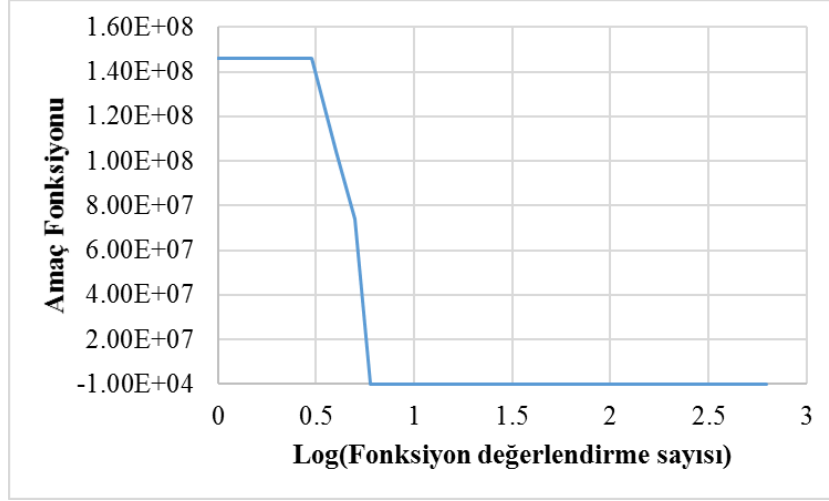
$$0 \leq x_2 \leq 100 \quad (\text{A.41})$$

$$x = (14.095, 0.84296), \quad f(x) = -6961.81388 \quad (\text{A.42})$$

Fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.7'da verilmiştir. Şekil A.7'da görüldüğü üzere fonksiyonunun guguk kuşu

araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. Değerlendirme sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = (14.095, 0.84296), f(x^*) = -6961,81388 \quad (\text{A.43})$$



Şekil A.7: Kısıtlı 2.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

### EK A.8 Kısıtlı 3.Test Fonksiyonu

5 adet karar değişkeni ve 6 adet eşitsizlik kısıtını içeren minimizasyon problemi ve optimal çözümü aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } f(x) = [5.3578547x_3^2 + 0.835689x_1x_5 + 37.293239x_1 + 40792.141] \quad (\text{A.44})$$

$$g_1(x) = 85.334407 + 0.0056858x_2x_4 - 0.0022053x_3x_5 - 92 \leq 0 \quad (\text{A.45})$$

$$g_2(x) = 85.334407 + 0.0056858x_2x_4 - 0.0022053x_3x_5 \leq 0 \quad (\text{A.46})$$

$$g_3(x) = 80.51249 + 0.0071317x_2x_5 - 0.0029955x_1x_2 + 0.0021813x_3^2 - 110 \leq 0 \quad (\text{A.47})$$

$$g_4(x) = 80.51249 + 0.0071317x_2x_5 - 0.0029955x_1x_2 + 0.0021813x_3^2 + 90 \leq 0 \quad (\text{A.48})$$

$$g_5(x) = -9.300961 + 0.0047026x_1x_3 + 0.0012547x_1x_3 + 0.0019085x_3x_4 - 25 \leq 0 \quad (\text{A.49})$$

$$g_6(x) = -9.300961 + 0.0047026x_1x_3 + 0.0012547x_1x_3 + 0.0019085x_3x_4 + 20 \leq 0 \quad (\text{A.50})$$

$$78 \leq x_i \leq 102, \quad 33 \leq x_i \leq 45, \quad 27 \leq x_i \leq 45, \quad i = 3, 4, 5 \quad (\text{A.51})$$

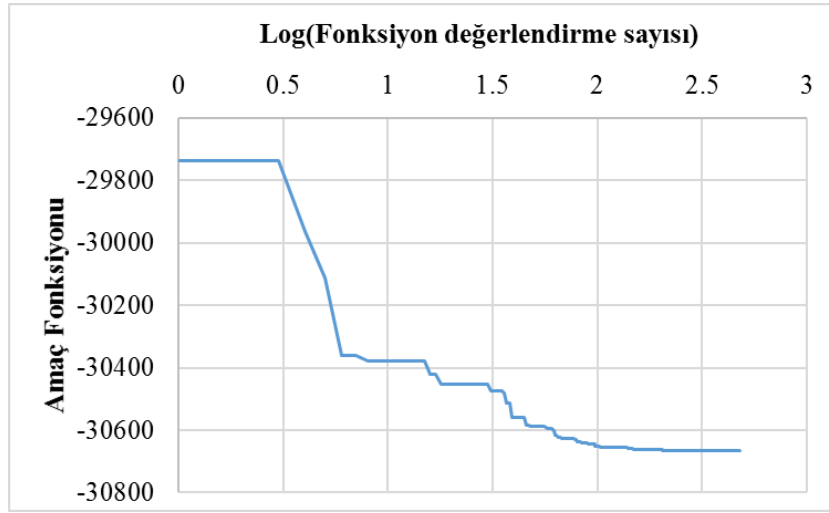
$$x = (78, 33, 29.995256025682, 45, 36.775812905788), \quad (\text{A.52})$$

$$f(x) = -30665.539$$

Fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.8’de verilmiştir. Şekil A.8’de görüldüğü üzere fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. Değerlendirme sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = (78, 33, 29.9952560256801, 45, 36.7758129057896), \quad (\text{A.53})$$

$$f(x^*) = -30665,539$$



Şekil A.8: Kısıtlı 3. Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

#### EK A.9 Kısıtlı 4. Test Fonksiyonu

2 adet karar değişkeni ve 2 adet eşitsizlik kısıtını içeren maksimizasyon problemi ve optimal çözümü aşağıda sırasıyla verilmektedir.

$$\text{mak } f(x) = \left[ \frac{\sin^3(2\pi x_1) \sin(2\pi x_2)}{x_1^3(x_1 + x_2)} \right] \quad (\text{A.54})$$

$$g_1(x) = x_1^2 - x_2 + 1 \leq 0 \quad (\text{A.55})$$

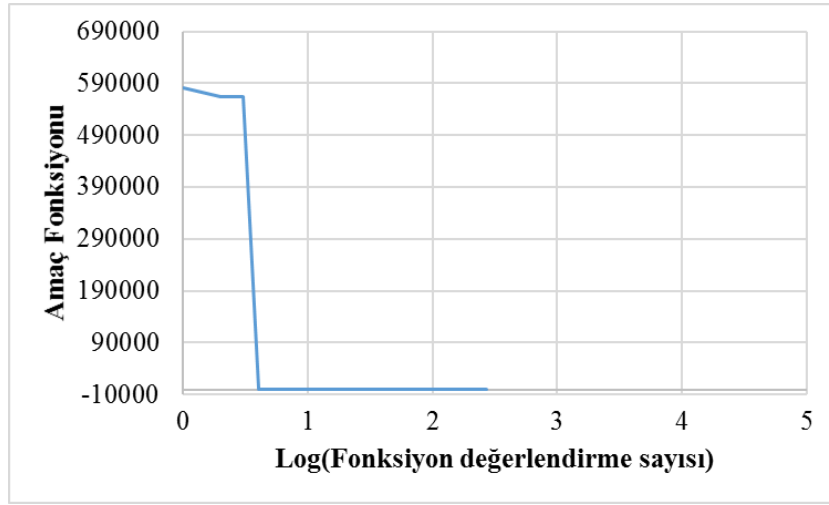
$$g_2(x) = 1 - x_1 + (x_2 - 4)^2 \leq 0 \quad (\text{A.56})$$

$$0 \leq x_1 \leq 10, \quad 0 \leq x_2 \leq 10 \quad (\text{A.57})$$

$$x = (1.2279713, 4.2453733), \quad f(x) = 0.095825 \quad (\text{A.58})$$

Fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.9'da verilmiştir. Şekil A.9'da görüldüğü üzere fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global optimuma yakınsadığı görülmektedir. Değerlendirme sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = (1.2279713, 4.2453733), \quad f(x^*) = -0,095825 \quad (\text{A.59})$$



Şekil A.9: Kısıtlı 4. Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

### EK A.10 Kısıtlı 5. Test Fonksiyonu

3 adet karar değişkeni ve 1 adet eşitsizlik kısıtını içeren maksimizasyon problemi ve optimal çözümü aşağıda sırasıyla verilmektedir.

$$\text{mak } f(x) = \left[ \frac{100 - (x_1 - 5)^2 - (x_2 - 5)^2 - (x_3 - 5)^2}{100} \right] \quad (\text{A.60})$$

$$g(x) = (x_1 - p)^2 + (x_2 - q)^2 + (x_3 - r)^2 - 0.0625 \leq 0 \quad (\text{A.61})$$

$$0 \leq x_i \leq 10, \quad i = 1, 2, 3 \text{ ve } p, q, r = 1, 2, \dots, 9 \quad (\text{A.62})$$

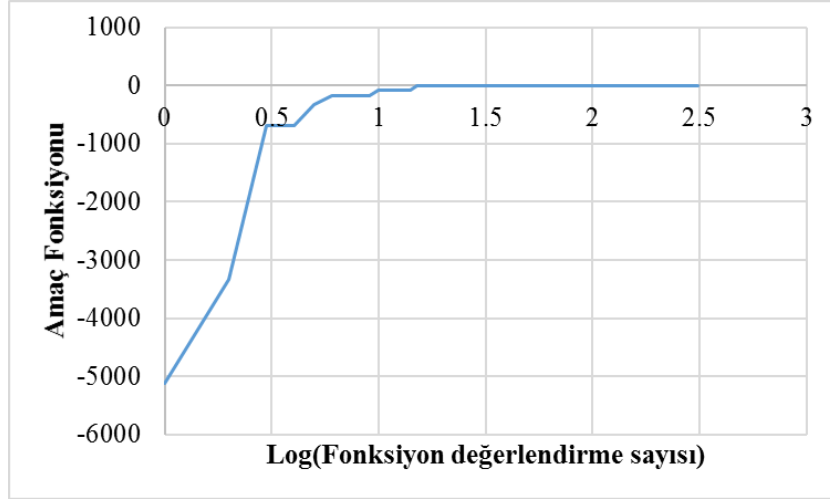
$$x = (5, 5, 5), \quad f(x) = 1 \quad (\text{A.63})$$

Fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişiminin logaritmik grafiği ise Şekil A.10'da verilmiştir. Şekil A.10'da görüldüğü üzere fonksiyonunun guguk kuşu araştırma algoritması ile optimizasyonu sonucu elde edilen sonuçların global



optimuma yakınsadığı görülmektedir. Değerlendirme sonucunda bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$x^* = (5, 5, 5), \quad f(x^*) = 1 \quad (\text{A.64})$$



Şekil A.10: Kısıtlı 5.Test fonksiyonu için amaç fonksiyonunun fonksiyon değerlendirme sayısı ile değişimi

Bu problemde araştırma uzayının uygun çözüm bölgesi  $9^3$  ayrık küreden oluşmaktadır. Yukarıda verilen eşitsizliği sağlayan  $p, q, r$  değerlerinin varlığı durumunda  $(x_1, x_2, x_3)$  noktası bir uygun çözüm noktası olabilme şansına sahiptir (Zahara ve Kao, 2009).

## 9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : VOLKAN HELVA  
Doğum Yeri ve Tarihi :MANİSA/TÜRKİYE - 16.06.1990  
Lisans Derecesi : Pamukkale Üniversitesi - DENİZLİ  
Elektronik posta : [volkanhelva@gmail.com](mailto:volkanhelva@gmail.com)

### İş Deneyimleri:

Şirket:	Konum:	Başlangıç tarihi:	Bitiş tarihi:
AVRASYA 45 Yapı Denetim Şirketi	Stajyer	11.06.2012	11.09.2012
Krosnienskie Przedsiębiorstwo Budowlane W Krosnie SA (POLONYA)	Stajyer	01.07.2013	01.10.2013
TÜBİTAK	Proje Asistanı	01.02.2015	12.09.2016
Serbest Çalışan	İSG Uzmanı	15.03.2017	-

### Bilimsel Yayınlar:

#### A) SCI Index'te Taranan Yayınlar

1. TOPRAK S., NACAROGLU E., HELVA, V., KOC A. C., "Design Charts For Pipelines Under Longitudinal Soil Loading", Journal of Environmental Protection and Ecology 18, No 1, 63-70, December 2016.

#### B) Uluslararası Bildiriler

1. TOPRAK S., HELVA, V., KOC C. A., "Design Charts for Pipelines under Longitudinal Soil Loading", 3rd International Conference Water Across Time in Engineering Research, 23-25 June 2016, Romania.

2. KOC, A. C., TOPRAK, S., DEMİR, Ü. S., SARI, M., NACAROĞLU, E., HELVA, V., (2017), "Use of Graph Metrics in the Design of Earthquake Resistant Water Distribution Systems", 16th World Conference on Earthquake, 9-13 January 2017, Santiago, Chile.

### C) Ulusal Bildiriler

1. TOPRAK, S., NACAROĞLU, E., KOÇ, A.C., SARI, MURAT., YILDIRIM, Ü.S., ve HELVA, V., "Christchurch Yeni Zelanda Depreminin Avonside Bölgesindeki Gömülü Borular Üzerine Etkisi", Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11 Mayıs-14 Mayıs, 2015, İstanbul, Türkiye.

2. TOPRAK, S., HELVA, V., BALLI, Ö., "Çelik Boru Hattının Şev Hareketi Etkisi Altında Davranışı", 6.Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım 2015, Adana, Türkiye.

3. KOÇ, A. C., TOPRAK, S., SARI, M., NACAROĞLU, E., YILDIRIM Ü. S., HELVA, V., "Hasar Görmüş Su Dağıtım Sistemlerinin Performans Analizi", 7.Kentsel Altyapı Sempozyumu , 13-14 Kasım 2015, Trabzon, Türkiye.