

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

**SIRALI BARAJLARDA HAZNE İŞLETME ENİYİLEMESİ İLE
İŞLETME KURAL EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE
BÜYÜK MENDERES NEHRİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL ARA

DENİZLİ, HAZİRAN- 2018

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



**SIRALI BARAJLARDA HAZNE İŞLETME ENİYİLEMESİ İLE
İŞLETME KURAL EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE
BÜYÜK MENDERES NEHRİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL ARA

DENİZLİ, HAZİRAN- 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

İSMAİL ARA tarafından hazırlanan “Sıralı Barajlarda Hazne İşletme Eniyilemesi İle İşletme Kural Eğrilerinin Elde Edilmesi Ve Büyük Menderes Nehri Örneği” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 08.06.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

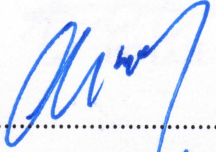
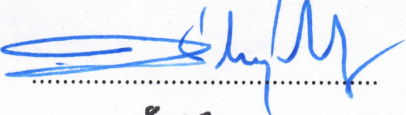

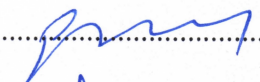
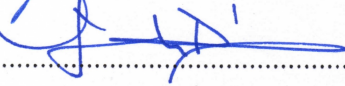
Danışman
Doç. Dr. Mutlu YAŞAR

Üye
Prof. Dr. İsmail DURANYILDIZ

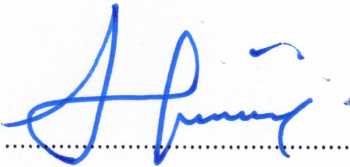
Üye
Prof. Dr. Ülker GÜNER BACANLI

Üye
Doç. Dr. Gürhan GÜRARSLAN

Üye
Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ


.....

.....

.....

.....

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
12/09/2018 tarih ve ...37/21... 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.

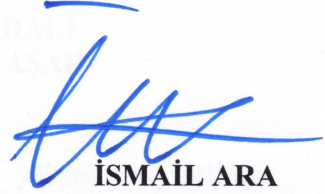
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSMAİL ARA

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI DOÇ. DR. MUTLU YASA

DENİZLİ, HAZİRAN-2018



İSMAİL ARA

Bu çalışma kapsamında, baraj haznelerinin kullanılması amacıyla içme suyu, sulama ve taslim kontrolü yapılarak sıralı barajların enerji üretimi en büyükmeye yapılmıştır. Büyük Menderes nehri ana kolu üzerinde bulunan Adıgözel ve Cindere sıralı barajları için hazne işletmesi Goguk Kusu algoritması kullanılarak eniyilemiş ve ilgili barajlar için kural eğrileri geliştirilmiştir. Geliştirilen kural eğrileri sayesinde, Adıgözel ve Cindere sıralı barajlarının içme suyu, sulama ve taslim kontrolü için öncelikli talepleri karşılanarak enerji üretimi en büyükmeye yapılmıştır. Ayrıca, literatürden farklı olarak hazne işletme çalışmasında türbin verimliliği dikkate alınarak kural geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Hazne İşletmesi, Kural Eğrisi, Goguk Kusu Algoritması, Sıralı Barajlar, Folyoleme, Hırvatçılık Enerji.

ÖZET

**SIRALI BARAJLARDA HAZNE İŞLETME ENİYİLEMESİ İLE
İŞLETME KURAL EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE
BÜYÜK MENDERES NEHRİ ÖRNEĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSMAİL ARA
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. MUTLU YAŞAR)
DENİZLİ, HAZİRAN- 2018**

Bu çalışma kapsamında, baraj haznelerinin yüksek verimlilikte kullanılması amacıyla içme suyu, sulama ve taşkın kontrolü kısıtları dikkate alınarak sıralı barajlarda enerji üretimi en büyükleme yapılmıştır. Büyük Menderes nehri ana kolu üzerinde bulunan Adıgüzel ve Cindere sıralı barajları için hazne işletmesi Guguk Kuşu algoritması kullanılarak eniyelenmiş ve ilgili barajlar için kural eğrileri geliştirilmiştir. Geliştirilen kural eğrileri sayesinde, Adıgüzel ve Cindere sıralı barajlarının içme suyu, sulama ve taşkın kontrolü gibi öncelikli talepleri karşılanarak enerji üretimi en büyüklenmiştir. Ayrıca, literatürden farklı olarak hazne işletme çalışmasında türbin verimini dikkate alan bir kural geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Hazne İşletmesi, Kural Eğrisi, Guguk Kuşu Algoritması, Sıralı Barajlar, Eniyileme, Hidroelektrik Enerji,

ABSTRACT

DERIVING OPERATING RULE CURVES WITH RESERVOIR OPERATION OPTIMIZATION IN CASCADE DAMS AND CASE STUDY OF BÜYÜK MENDERES RIVER

**MSC THESIS
İSMAİL ARA**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. MUTLU YASAR)**

DENİZLİ, JUNE 2018

In the scope of this study, energy generation is maximized in cascade dams considering drinking water, irrigation and flood control constraints in order to use dam reservoirs with high efficiency. Reservoir operation is optimized and rule curves are obtained by using Cuckoo Search algorithm for Adıgüzel and Cindere cascade dams located on the Büyük Menderes River. The energy generation of dams was maximized with meeting primarily demands such as drinking water, irrigation and flood control of Adıgüzel and Cindere cascade dams thanks to obtained rule curves. Moreover, unlike the literature a rule was developed that consider of turbine efficiency in reservoir operation.

KEYWORDS: Reservoir Operation, Rule Curve, Cuckoo Search Algorithm, Cascade Dams, Optimization, Hydropower Energy.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı Ve Önemi.....	3
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	6
2.1 Tekli Hazne İşletmesi.....	6
2.2 Sıralı Hazne İşletmesi.....	11
3. HAZNE İŞLETMESİ	15
3.1 Ardışık Akım Öteleme Yöntemi	16
3.2 Hazne İşletme Kural Eğrisi	17
3.2.1 Deneme Yanılma Yöntemi:	18
3.2.2 Dinamik Programlama Yöntemi:.....	19
3.2.3 Stokastik Dinamik Programlama Yöntemi:.....	19
3.2.4 Aşamalı Optimallik İlkesi İle Dinamik Programlama Yöntemi:	20
3.2.5 Genetik Algoritma Yöntemi:	20
3.2.6 Parametreleştirme-Optimizasyon-Benzetim Yaklaşımı:	21
4. PROJE SAHASININ TANITILMASI	22
4.1 Proje Sahasının Coğrafi Özellikleri.....	25
4.2 İklim Ve Su Kaynakları.....	27
4.2.1 İklim.....	27
4.2.2 Meteoroloji.....	27
4.2.3 Yağış	28
4.2.4 Buharlaşma	29
4.2.5 Su Kaynakları	30
4.2.5.1 Su Temini.....	31
4.2.5.2 Sulama.....	31
4.3 Adıgüzel Barajı Ve Hidroelektrik Santrali	33

4.4	Adıgüzel Barajı Ve Hidroelektrik Santrali İşletme Dönemi	34
4.5	Cindere Barajı Ve Hidroelektrik Santrali	36
4.6	Cindere Barajı Ve Hidroelektrik Santrali İşletme Dönemi	37
5.	YÖNTEM VE METODOLOJİ.....	39
5.1	Ardışık Akım Öteleme Yöntemi İle Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesinde Kullanılacak Veriler	39
5.1.1	Hazne Kot-Alan-Hacim Değerleri	39
5.1.1.1	Adıgüzel Barajı Kot-Alan-Hacim Değerleri	39
5.1.1.2	Cindere Barajı Kot-Alan-Hacim Değerleri	41
5.1.2	Kuyruk Suyu Kanalı Su Seviyesi Değişimi Hesaplamaları.....	42
5.1.2.1	Adıgüzel Barajı Kuyruk Suyu Kanalı Anahtar Eğrisi.....	42
5.1.2.2	Cindere Barajı Kuyruk Suyu Kanalı Anahtar Eğrisi.....	43
5.1.3	Türbin Verimi	44
5.1.3.1	Adıgüzel Barajı ve HES Türbin Verim Eğrisi	45
5.1.3.2	Cindere Barajı ve HES Türbin Verim Eğrisi	46
5.2	Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesinde Kullanılacak Karakteristiklerin Açıklamaları.....	47
5.3	Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesinde Optimum Türbin Debisinin Belirlenmesi	48
5.3.1	Adıgüzel HES İçin Optimum Türbin Debisinin Belirlenmesi.....	49
5.3.2	Cindere HES İçin Optimum Türbin Debisinin Belirlenmesi.....	49
5.4	Guguk Kuşu Arama (Cuckoo Search) Algoritması İle Eniyileme	50
5.4.1	Guguk Kuşlarının Çoğalma Davranışı.....	51
5.4.2	Lévy Uçuşu	51
5.4.3	Guguk Kuşu Arama Algoritması	52
5.5	Ardışık Akım Öteleme Yöntemi İle Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesi.....	56
5.6	Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesi İçin Eniyileme Yapılması.....	62
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
6.1	Öneriler.....	74
7.	KAYNAKLAR.....	75
8.	ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Kaynaklar bazında Dünya birincil enerji tüketimi, (BP Sta. World Review of Energy,2016)	2
Şekil 1.2: Türkiye’de kaynaklarına göre kullanılan elektrik enerjisi kurulu gücü (TEİAŞ, 02/2018).....	2
Şekil 3.1: Örnek bir hazne işletme kural eğrisi	17
Şekil 4.1: Çalışma alanının Türkiye’deki yeri	22
Şekil 4.2: Büyük Menderes Havzası akarsular haritası.....	23
Şekil 4.3: Çalışma alanı barajlar ve akarsular haritası	23
Şekil 4.4: Büyük Menderes Nehri ana kolu üzerindeki hidroelektrik santraller....	25
Şekil 4.5: Adıgüzel Barajı Şematik Gövde Kesiti.....	26
Şekil 4.6: Cindere Barajı Şematik Gövde Kesiti.....	26
Şekil 4.7: Akım gözlem istasyonu ve meteoroloji istasyonu bulduru haritası.....	28
Şekil 4.8: Denizli meteoroloji istasyonu aylık ortalama yağış değerleri	29
Şekil 4.9: Denizli meteoroloji istasyonu aylık ortalama buharlaşma değerleri	30
Şekil 4.10: Adıgüzel Barajı aylık ortalama mansap sulama suyu ihtiyaçları.....	32
Şekil 4.11: Cindere Barajı aylık ortalama mansap sulama suyu ihtiyaçları.....	32
Şekil 4.12: Adıgüzel Barajı işletme dönemi yıllık enerji üretim değerleri	35
Şekil 4.13: Adıgüzel Barajı kümülatif enerji üretim değerleri.....	35
Şekil 4.14: Cindere Barajı işletme dönemi yıllık enerji üretim değerleri	38
Şekil 4.15: Adıgüzel Barajı kümülatif enerji üretim değerleri.....	38
Şekil 5.1: Adıgüzel Barajı kot-alan-hacim eğrisi	40
Şekil 5.2: Cindere Barajı kot-alan-hacim eğrisi	41
Şekil 5.3: Adıgüzel HES kuyruk suyu anahtar eğrisi.....	43
Şekil 5.4: Cindere HES kuyruk suyu anahtar eğrisi.....	44
Şekil 5.5: Adıgüzel HES türbin verim eğrisi	46
Şekil 5.6: Cindere HES türbin verim eğrisi	47
Şekil 5.7: Guguk kuşu arama algoritması akış şeması.....	55
Şekil 6.1: Adıgüzel Barajı aylık işletme kotlarının karşılaştırması	69
Şekil 6.2: Cindere Barajı aylık işletme kotlarının karşılaştırması	70
Şekil 6.3: Adıgüzel Barajı kümülatif enerji üretiminin karşılaştırması	72
Şekil 6.4: Cindere Barajı kümülatif enerji üretiminin karşılaştırması	72

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1:	Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklar bazında dağılımı (TEİAŞ, 02/2018)	3
Tablo 4.1:	Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali karakteristik özellikleri..	33
Tablo 4.2:	Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali karakteristik özellikleri....	36
Tablo 5.1:	Adıgüzel Barajı kot-alan-hacim değerleri	40
Tablo 5.2:	Cindere Barajı kot-alan-hacim değerleri	41
Tablo 5.3:	Adıgüzel HES kuyruk suyu kanalı debi-seviye değerleri.....	43
Tablo 5.4:	Cindere HES kuyruk suyu kanalı debi-seviye değerleri.....	44
Tablo 6.1:	Adıgüzel Barajı mevcut işletme kotları ve eniyileme sonucunda önerilen işletme kotları.....	68
Tablo 6.2:	Cindere Barajı mevcut işletme kotları ve eniyileme sonucunda önerilen işletme kotları.....	69
Tablo 6.3:	Adıgüzel Barajı eniyileme sonucunda gerçekleşen enerji üretim değerleri.....	71
Tablo 6.4:	Cindere Barajı eniyileme sonucunda gerçekleşen enerji üretim değerleri.....	71

KISALTMALAR LİSTESİ

ADP	:	Artımlı Dinamik Programlama
ASCE	:	American Society of Civil Engineers
AGİ	:	Akım Gözlem İstasyonu
Diğ.	:	Diğerleri
DP	:	Dynamic Programming
DSİ	:	Devlet Su İşleri
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İstasyonu
EÜAŞ	:	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GA	:	Genetik Algoritma
GB	:	Gigabayt
GHz	:	Gigahertz
GWh	:	Gigawatt saat
ha	:	Hektar
HEPP	:	Hydroelectric Power Plant
HES	:	Hidroelektrik Santral
hm³	:	Hektometreküp
KHEP	:	Koyna Hidroelektrik Projesi
km	:	Kilometre
km²	:	Kilometrekare
KTDP	:	Kesintili Türevsel Dinamik Programlama
LP	:	Linear Programming
m	:	Metre
m³	:	Metreküp
mm	:	Milimetre
MW	:	Megawatt
MWe	:	Megawatt elektriksel
NLP	:	Non-linear Programming
s	:	Saniye
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
USD	:	United States Dollars
UTM	:	Universal Transverse Mercator

SEMBOL LİSTESİ

ΔV	Haznede biriken su hacmindeki değişimi
$\mu_{T,i}^n$	Türbin verimi
A_i	Dönem başı göl alanı
A_{i+1}	Dönem sonu göl alanı
D_C	Cebri boru çapı
E_i	Buharlaşma değerleri
E_{max}	Toplam enerji üretimi
$E_{T,i}$	Aylık toplam enerji üretimi
$E_{T,i}^n$	Aylık ünite enerji üretimi
$h_{1,max}$	Adıgüzel Barajı maksimum işletme kotu
$h_{1,min}$	Adıgüzel Barajı minimum işletme kotu
$h_{1,T}$	Adıgüzel Barajı'nda her ay için hedeflenen işletme kotu
$h_{2,max}$	Cindere Barajı maksimum işletme kotu
$h_{2,min}$	Cindere Barajı minimum işletme kotu
$h_{2,T}$	Cindere Barajı'nda her ay için hedeflenen işletme kotu
H_i	Dönem başı su seviyesi
H_{i+1}	Dönem sonu su seviyesi
$h_{LS,i}$	Cebri boru sürekli kayıpları
$h_{LY,i}$	Cebri boru yersel kayıpları
$H_{N,i}$	Net düşü
$H_{ort,i}$	Ortalama hazne su seviyesi
H_t	Dönem sonunda hedeflenen su seviyesi
$H_{TW,i}$	Dönem sonu kuyruk suyu seviyesi
I	Hazneye giren akım
I_i	Aylık Hazne giriş akımı
IR	Sulama değerleri
i	İşletme çalışması yapılan dönem süresince ki ay sayısını
L	Haznedeki buharlaşma, sızma ve benzeri su kayıpları
L_C	Cebri boru uzunluğu
n	Santraldeki ünite sayısıdır
O	Hazneden çıkan akım miktarını
P_i	Hazne göl alanına düşen yağış miktarı
$Q_{A,1}$	Adıgüzel Barajı 1. türbin için enerji üretimine esas aylık debi
$Q_{A,2}$	Adıgüzel Barajı 2. türbin için enerji üretimine esas aylık debi
$Q_{A,max}$	Adıgüzel Barajı maksimum türbin debisi
$Q_{A,min}$	Adıgüzel Barajı minimum türbin debisi
$Q_{C,1}$	Cindere Barajı 1. türbin için enerji üretimine esas aylık debi
$Q_{C,2}$	Cindere Barajı 2. türbin için enerji üretimine esas aylık debi

$Q_{C,3}$	Cindere Barajı 3. türbin için enerji üretimine esas aylık debi
$Q_{C,max}$	Cindere Barajı maksimum türbin debisi
$Q_{C,min}$	Cindere Barajı minimum türbin debisi
Q_d	Maksimum türbin debisi (türbin tasarım debisi)
Q_{min}	Minimum türbin debisi
$Q_{N,i}$	Net türbinlenen debi
Q_{opt}	Optimum türbin debisi
Q_p	Tasarım debisi (proje debisi)
Q_t	Türbinlenen debi
$Q_{T,i}^n$	Ünite debisi
$S_{1,max}$	Adıgüzel Barajı maksimum işletme kotundaki hazne hacmi
$S_{1,min}$	Adıgüzel Barajı minimum işletme kotundaki hazne hacmi
$S_{1,T}$	Adıgüzel Barajı aylık hedeflenen işletme kotundaki hazne hacmi
$S_{2,max}$	Cindere Barajı maksimum işletme kotundaki hazne hacmi
$S_{2,min}$	Cindere Barajı minimum işletme kotundaki hazne hacmi
$S_{2,T}$	Cindere Barajı aylık hedeflenen işletme kotundaki hazne hacmi
$S_{D,i}$	Adıgüzel Barajı çıkış akımları
S_i	Dönem başındaki depolama hacmi
S_{i+1}	Dönem sonundaki depolama hacmi
S_L	Can suyu
$S_{N,i}$	Net türbinlenen hacim
S_{o_i}	Dönem sonunda bırakılması gereken hacim
S_{on_i}	Haznedan bırakılacak net hacim
S_{p_i}	Savaklanan akım
S_t	Dönem sonunda hedeflenen depolama hacmi
$S_{T,i}^n$	Ünite hacmi
$t_{n,i}$	Ünite enerji üretim süresi
U_i	Su hızı
$V_{TÜRBLN_MAX}$	Maksimum türbin hacmi
$Y_{TW,i}$	Dönem sonunda kuyruk suyu seviyesi değişim
$Z_{TW,i}$	Kuyruk suyu kanalı taban kotu

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bilgi ve tecrübelerini paylaşarak zengin bakış açısıyla beni aydınlatan danışmanım Doç. Dr. Mutlu YAŞAR'a, ayrıca çalışmamın birçok aşamasında büyük katkılar sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Gürhan GÜRARSLAN'a şükranlarımı sunarım.

Tüm çalışma dönemlerinde bana destek olan Hidrosolar Mühendislik ve Ey Enerji firmalarındaki mesai arkadaşlarıma, tez çalışmamda ihtiyacım olan verileri temin etmemde yardımcı olan DSİ 21. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans eğitimimden itibaren her zaman beni destekleyen, motive eden ve her ne kadar farklı şehirlerde olsalar da her an yanımda olmaya çalışan sevgili dostlarım ve meslektaşlarım Kenan SU, Destina Dilan EKİNCİ ve Serhat PİŞKEN'e teşekkür ederim.

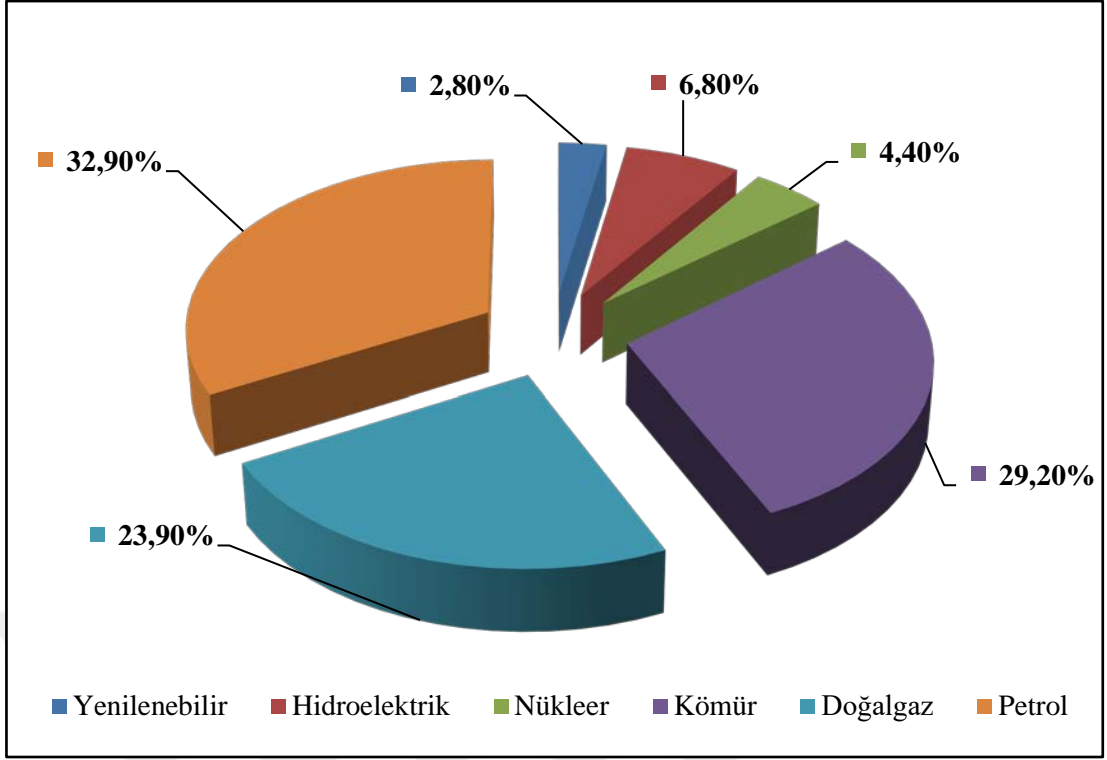
Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her daim arkamda olduklarını hissettiğim annem Seçgün ARA'ya, babam Bahattin ARA'ya, hayatımdaki en yakınım ve destekçim olan kardeşim Ece ARA'ya ve her an varlığını yanımda hissettiğim müstakbel eşim Damla'ya en içten duygularıyla teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

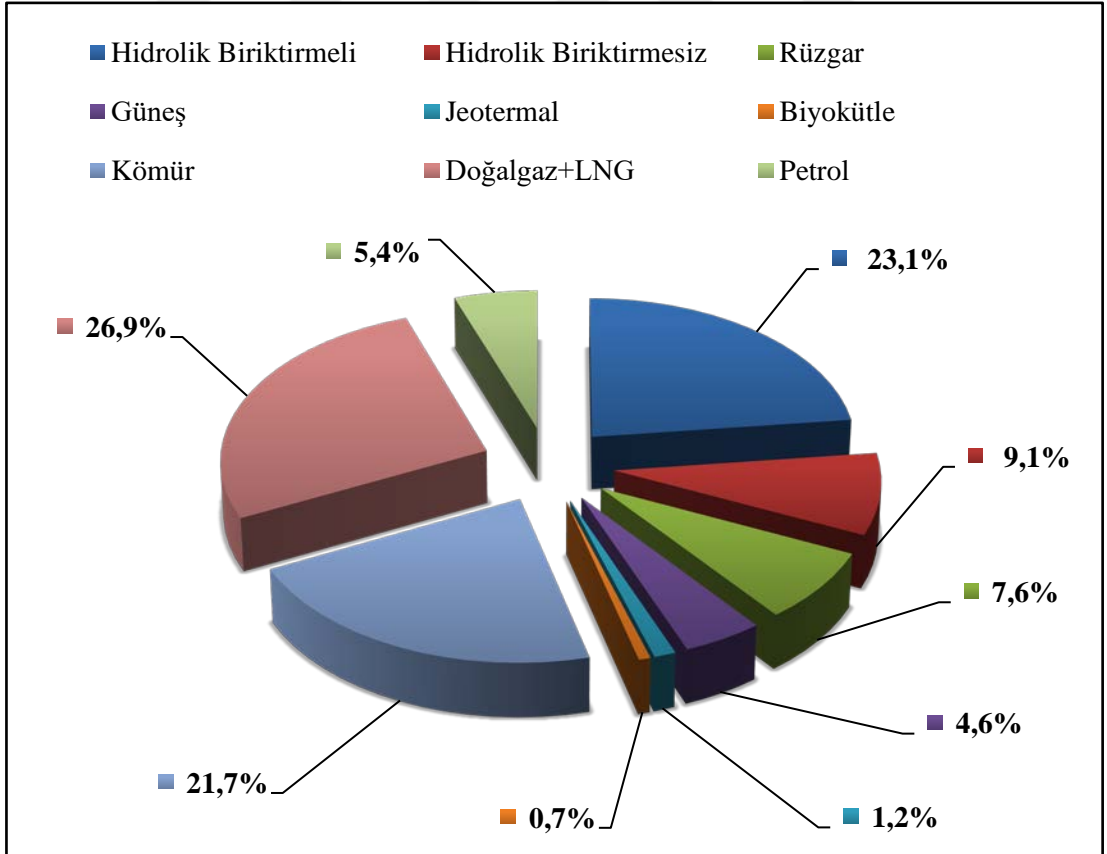
Enerji, medeniyetlerin gelişmesiyle birlikte tarih boyunca insan hayatının ve toplumların artarak gelen en önemli ihtiyaçlarından biridir. Dünyada ve ülkemizde gelişmekte olan ekonomi, teknoloji, üretim ihtiyacı, sosyal kalkınma ve nüfus artışı enerjiye olan talebin de hızla artışına sebep olmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde gereken enerji ihtiyacının yenilenebilir ve yerel kaynaklar ile sağlanamaması ülkeleri enerjide dışa bağımlı hale getirerek dünyadaki siyasal ve ekonomik birçok problemin temelini oluşturmaktadır. Ekonomik büyümenin üretime, üretimin de enerji ihtiyacına bağlı olması zincirleme bir problem şeklinde gelişerek enerjinin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Ülkemizde de enerji üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlar olan petrol, doğalgaz gibi ithal ve tükenbilir kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu durum enerjide dışa bağımlılığı oluşturmakla birlikte enerji üretiminin birim maliyetini artırmakta ve olumsuz çevresel etkiler oluşturmaktadır. Artan maliyetler ve zaman zaman yaşanan ülkeler arası siyasal krizler sonucunda enerji tüketimindeki talebin karşılanamaması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle ülkemizde de gelişmenin ve büyümenin önündeki en önemli problemlerden birisi enerjideki arz-talep dengesizliğidir. Ülkemizde yaşanan bu sorun; birim maliyetlerin daha düşük olması, çevresel etkilerde yaşanan olumsuzlukların daha az olması ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi nedeniyle enerji üretiminde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Dünya’da ve Türkiye’de enerji üretiminde kullanılan birincil kaynakların türleri ve bu kaynakların enerji üretimindeki kullanım oranları Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 1.1: Kaynaklar bazında Dünya birincil enerji tüketimi, (BP Sta. World Review of Energy,2016)



Şekil 1.2: Türkiye’de kaynaklarına göre kullanılan elektrik enerjisi kurulu gücü (TEİAŞ, 02/2018)

Şekil 1.1 ve 1.2 ‘den anlaşılacağı üzere Dünya’da ve Türkiye’de enerji üretimindeki en yüksek oranı fosil kaynaklar oluşturmaktadır. Fosil kaynakların dünya genelinde kısa zamanda tükenebilir olması, enerji üretiminde birim maliyetinin yüksek olması, birçok olumsuz çevresel etkiye sahip olması ve ülkemiz için de dışa bağımlılık sorunu oluşturması nedeniyle enerji üretiminde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Tablo 1.1 ‘de ise Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklar bazında dağılımı sunulmaktadır.

Tablo 1.1: Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklar bazında dağılımı (TEİAŞ, 02/2018)

Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)
Hidrolik Biriktirmeli	19.914,0
Hidrolik Biriktirmesiz	7.542,5
Rüzgâr	6.570,5
Güneş	3.942,1
Jeotermal	1.063,7
Biyokütle	580,7
Kömür	18.666,5
Doğalgaz + LNG	23.181,2
Petrol	4.653,8
Toplam	86.114,9

Tablo 1.1’den anlaşılacağı üzere Türkiye kurulu gücünün yaklaşık %30’u hidrolik kaynaklardan oluşmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı Ve Önemi

Dünya’da kullanılan çeşitli ölçütlere göre kullanılabilir su varlığı konusunda ülkeler üç farklı gruba ayrılmaktadır. Yıllık kişi başına düşen su miktarı 1000 m³’den az ülkeler su fakiri, 2000 m³’den az olan ülkeler az suyu olan, 8000 m³’ten fazla olan ülkeler su zengini ülkeler olarak adlandırılıyor. Türkiye’de toplam kullanılabilir su miktarı 112 milyar m³’tür (DSİ, 2014). Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TUİK) yapmış olduğu nüfus sayımına göre ülkemizin 2016 yılı sonu itibariyle nüfusu 79.814.871 kişidir (TUİK,2017). Türkiye’nin mevcut kullanılabilir su potansiyeline

göre kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarının hesaplandığında 1.403 m³ olduğu görülmektedir. Rakamlarla da görüldüğü üzere Türkiye su zengini bir ülke olmadığı gibi, kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. TÜİK, 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m³/yıl civarında olacağı öngörülmektedir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi, yaşanması muhtemel kuraklıklar gibi faktörlerin etkisi Türkiye'nin gelecekte daha ciddi su kaynakları sorunları yaşayacağını ortaya koymaktadır. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 2030 yılına kadar hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir (DSİ, 2014).

Yapılan bu değerlendirmeler dikkate alındığında; Türkiye'de gelecekte içme suyu, sulama suyu ve enerji üretimi için gereken suyun temin edilmesinde yetersizlikler yaşanacağı aşıkardır. Bu sebeple gelecek nesillere yeterli miktarda kullanılabilir su bırakabilmemiz için su kaynaklarının çok iyi korunması, akılcı bir biçimde kullanılması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ülke politikası haline getirilmesi gerekmektedir.

Türkiye, su kaynaklarından içme suyu ve sulama suyu sağlamanın yanı sıra, biriktirmeli ve biriktirmesiz hidrolik tesisleri ile enerji üretiminin %33,8'ini su'dan sağlamaktadır. Sürdürülebilir bir su kullanımı politikası için yalnız sulama ve içme suyu ihtiyaçlarına ilişkin çözüm üretmenin yanı sıra mevcut hidroelektrik tesislerini de verimli bir şekilde kullanılmalıdır. Özellikle mevcut hidroelektrik tesislerin %73'ünü oluşturan biriktirmeli hidroelektrik tesislerin verimli işletilmesi için hazne işletme eniyileme çalışmalarının yapılarak kural eğrilerinin elde edilmesi verimliliğin artırılmasına azımsanamayacak katkılar sağlayacaktır. Hazne işletme eniyileme çalışmaları hidrolojik çevrim prensibini esas alarak yapılan, hazneye giren akımları ve haznedeki bırakılacak akımları çeşitli kısıtları dikkate alarak belirleyen modellemelerdir. Sıralı haznelerin her birinin ayrı ayrı çalışılması yerine sistemi bir bütün olarak ele alıp havzanın tamamı için eniyileme çalışılması durumunda daha verimli sonuçlar elde edilmektedir. Sıralı haznelerin işletilmesinde mansaba aktarılacak suyun belirlenmesi esnasında sıralı tesislerin tamamının üreteceği enerjinin en büyüklüğüne hedeflenmelidir. Böylece gereken kısıtlar sağlanarak (sulama, içme suyu, vs.) en az su kullanımı ile en çok enerji üretiminin nasıl

yapılacağı aranamaktadır. Bilindiği üzere, sürdürülebilir bir kalkınma için yerli enerji kaynaklarının kullanımını artırmanın yanı sıra kaynaklarımızın verimli kullanılmasının önemi büyüktür.

Yapılan bu çalışma ile Türkiye’de planlanan, inşaatı devam eden ve işletmede olan biriktirmeli hidroelektrik santrallerin herhangi bir ek yatırım yapılmadan sadece işletme politikaları geliştirilerek (kural eğrileri elde edilerek) enerji üretiminin arttırılması amaçlanmıştır. Bilindiği üzere kural eğrisi haznenin yılın değişik zamanları için haznenin hangi kotta (dolulukta) beklemesi gerektiğini belirlemektedir. Dolayısı ile dolusavaktan su atılmasını minimize ederek ilgili suyun üretimde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Mevcut su kaynaklarının ekonomik kullanılması, öz kaynaklarımızın verimli kullanımı ile enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve mevcut kaynaklarımızdan en iyi şekilde yararlanılması hedeflenmiştir.

Bu tez kapsamında Menderes Nehri ana kolu üzerinde bulunan Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı için, hazne işletme eniyilemesi yapılarak kural eğrisi elde edilmiştir. Eniyileme için guguk kuşu algoritması yönteminden yararlanılmıştır. Menderes Nehri ana kolu üzerinde sıralı olarak yer alan Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajları sulama ve enerji amaçlı işletilmektedirler. Hazne işletme eniyilemesi esnasında öncelikli amacı sulama olan her iki barajın sulama miktarları eniyileme probleminin kısıtları olarak dikkate alınmıştır. Hazneler sırasıyla işletilerek gerekli kısıtlara bağlı kalacak şekilde minimum su kullanımı ile her iki barajın da enerji üretimi toplamları en büyüklenmeye çalışılmış ve her iki baraj işletmesinde kullanmak üzere kural eğrileri elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Su Kaynaklarının Planlanması konusunda, dünya genelinde mühendisler ve bilim insanları tarafından su kaynakları planlamasını çeşitli açılardan inceleyen birçok çalışmalar yapılmıştır. Su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle hidroelektrik enerji potansiyelinin verimli kullanılabilmesi için su kaynaklarından enerji üretiminin en iyileştirilmesini amaçlayan çalışmalar yapılmıştır. Mühendisler ve bilim insanları tarafından bugüne kadar yapılan çalışmalarda, özellikle biriktirmeli hidroelektrik santrallerin hazneleri için sulama, içme suyu talebi, taşkın ötelemesi, yağışlı ve kurak mevsim şartları vb. kısıtlar dikkate alınarak ve farklı bileşimlerle oluşturulan amaç fonksiyonları aracılığıyla hazne işletme yöntemleri geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen bu hazne işletme yöntemleri tekli ve çoklu hazneler üzerinde çalışılarak uygulanabilirlikleri incelenmiştir. Çeşitli eniyileme algoritmaları kullanılarak yapılan bu çalışmalar ile biriktirmeli santrallerin hazne işletme yöntemlerinde değişiklikler yapılarak en az su kullanımı ile en çok enerji üretiminin nasıl yapılacağı aranmaktadır.

2.1 Tekli Hazne İşletmesi

Hazne işletme çalışmaları hidrolojik çevrim prensibini esas alarak yapılan, hazneye giren akımları ve hazneden bırakılacak akımları içme suyu talebi, sulama, taşkın kontrolü, enerji üretimi vb. kısıtlara bağlı olarak belirleyen modellemelerdir. Hazne işletme konusunda uzun yıllardır yapılan çalışmalarda haznenin amacını en iyi şekilde yerine getirmesi amaçlanmıştır. Bilim insanları bugüne kadar hazne işletme kurallarını tanımlayan farklı farklı yaklaşımlar ortaya koymuş ve bu yaklaşımlarını farklı matematik modelleri ile eniyilemeye çalışmışlardır.

Su kaynaklarının sınırlı kaynaklar olması ve sürdürülebilir bir su kullanımı politikası için dünyada ve ülkemizde su kaynaklarının planlama, tasarım ve uygulama aşamalarında hazne işletme eniyileme çalışmalarının geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle bugüne kadar önemli bir araştırma alanı olan hazne işletme eniyileme çalışmaları geliştirilerek devam etmektedir.

Hazne işletme eniyileme yöntemleri konusunda yapılan çalışmaların tarihsel gelişimini incelediğimizde, hazne işletme çalışmalarına 1950'li yılların sonlarında dinamik programlara teknikleri kullanılarak başlanmış ve ilk olarak tekli hazne işletme eniyilemesi üzerinde çalışılmıştır. Dinamik programlama, uzun süreli rezervuar işletmesinin eniyilemesinde de güçlü bir yaklaşıma sahiptir (Bellman 1957). Dinamik programlamanın birincil avantajı, zorlanmadan karmaşık amaç fonksiyonları ile başa çıkma yeteneğidir. Young (1967), dinamik programlama kullanarak tek hazne için optimal işletim kuralları geliştirmiştir. Heidari ve diğ. (1971), Larson'un (1968) bellek kullanımı ve işlem sayısını azaltmak için önermiş olduğu Artımlı Dinamik Programlama (ADP) önerisinden yola çıkarak, Ayrık farksal Dinamik Programlama (AFDP) adı verilen bir model geliştirmiştir.

Yeh (1985), hazne işletme eniyilemeleri için ortaya konulmuş matematiksel programlama yöntemlerini incelemek ve bir durum değerlendirmesi yapmak için oldukça detaylı bir araştırma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada Doğrusal Programlama (Linear Programming, LP), Dinamik Programlama (Dynamic Programming, DP), Lineer Olmayan Programlama (Non-linear Programming, NLP) ve Benzetim yöntemleri ile çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan bu yöntemlerin bilgisayar aracılığı ile kullanımının gereklilikleri ve hazne işletme eniyileme yöntemlerinde bilim insanlarının ve mühendislerin karşılaştıkları zorluklar ortaya konmuştur.

Simonovic (1992) hazne işletme eniyilemesinde kullanılan matematiksel modellerin kısa bir incelemesini sunmuştur. Bu incelemede, daha önce yapılmış çalışmaların sonuçlarını sunmuş ve teori ile uygulama arasındaki oluşan boşluğu kapatmak için bazı düşünceler ortaya koymayı amaçlamıştır. Simonovic (1992) bu çalışmasında öncelikle çok amaçlı bir hazne boyutlandırması için basit bir benzetim eniyileme modeli sunmuş ve devamında da su kaynakları mühendislerinin pratik ihtiyaçlarına nasıl yanıt verdiğini göstermeye çalışmıştır.

Wurbs (1993) hazne eniyileme modellerini incelemiş ve bu çalışmasında su kaynakları sistemlerinin analizinde kullanılacak çeşitli sayısal modeller üzerinde durmuştur. Yapmış olduğu çalışmasında farklı karar verme durumlarında hangi yöntemlerin en uygun olduğunu belirlemeyi hedeflemiştir.

Canlılardaki genetik sürecin matematiksel modellenmesi üzerinden geliştirilen genetik algoritmalar, hazne işletme eniyilemesi alanında da çokça kullanılmaktadır. Fahmy ve diğ. (1994) bir hazne işletme eniyilemesi çalışmasında genetik algoritma tekniğini kullanmıştır. Genetik algoritma ile elde edilen sonuçları dinamik programlama ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır.

Cai ve diğerleri (2001) doğrusal olmayan hazne işletme problemlerini çözmeye yönelik bir genetik algoritma modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada, genetik algoritma, yalnızca sınırlı sayıdaki karmaşık değişkenler üzerinde eniyileme yaparak problemin birçok basit doğrusal programlama problemlerine bölünmesini sağlamaktadır.

Barros ve diğ. (2003), Brezilya'daki 69,4 MW kapasiteli ve 75 hidroelektrik santralin bulunduğu enerji üretim sistemi için bir doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmiştir. Ayrıca aynı problemi doğrusal olmayan programlama, doğrusal programlama ve ardışık doğrusal programlama yöntemleri ile çözmüş ve en iyi çözümü doğrusal olmayan programlama ile elde etmiştir. Bu çalışmada amaç santrallerin enerji üretimini en büyükmektir.

Awchi (2004), nehir üzerindeki sulama projelerinin su ihtiyacını karşılamak için Hindistan'daki Mula rezervuarında en iyi işletme politikasını ve yönetimini bulmak üzere doğrusal programlama ve dinamik programlama gibi farklı eniyileme modelleri kullanmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar, dinamik programlama yöntemi ile bulunan sonuçların doğrusal programlama yöntemi ile ulaşılan sonuçlardan daha iyi olduğunu göstermiştir.

Barros ve diğ. (2005) yaptıkları bir çalışmada karmaşık hidroelektrik sistemlerinin eniyilemesi için farklı amaç fonksiyonlarını karşılaştırmıştır. Amaç fonksiyonu, hazne işletme sistemlerini doğrudan etkilemesi nedeniyle çok dikkatli belirlenmelidir. Barros ve arkadaşları yaptıkları çalışmada altı farklı amaç fonksiyonu incelemiştir. Bu fonksiyonlar; depolanan potansiyel enerjinin kaybını en aza indirmek, hedeflerden depolama sapmalarını en aza indirmek, enerji üretimini en büyükmek, savaklamayı en aza indirmek, enerji tamamlamasını en aza indirmek, ikincil enerjinin karını en büyükmektir. Sonuçlar doğrultusunda,

alışan hidroelektrik santral için enerji tamamlamasını en aza indirgeyen fonksiyon amaç fonksiyonu seçilmiştir.

Ngo (2006), Vietnam'daki Red nehir üzerinde bulunan Hoa Binh hazne benzetim modeli için bir taslak geliştirmiştir. Ngo MIKE 11 benzetim teknolojisini kullanarak yaptığı çalışmasında hidroelektrik enerji üretimini ve taşkın kontrolünü dikkate almıştır. Sonuçlar, taşkın kontrolü hesaba katılmadan hidroelektrik enerji üretilmesi konusundaki yoğunlaşmaya ilişkin olarak benzetim eğrileri ile eniyileme eğrileri arasında bir eşleşme göstermiştir.

Su kaynakları eniyilemeleri büyük ölçekli ve karmaşık problemler olması nedeniyle genetik algoritmalar ile her ne kadar iyi zmler elde edilse de erken yakınsama sorunu bu süreçte ciddi bir problem yaratmaktadır. Cheng ve diğ. (2008), Kaotik Genetik Algoritmanın, Genetik Algoritmaya göre daha etkin bir algoritma olduğunu göstermiştir. Bu alışmada, Genetik Algoritmanın erken yakınsama sorunu belirtilmiş ve Genetik Algoritmanın erken yakınsama sorununu aşmak için Kaotik Genetik Algoritma kullanılmıştır. Kaotik Genetik Algoritma, Genetik Algoritmanın güçlü evrensel arama yeteneğini Kaotik Eniyileme Algoritmasının güçlü yerel arama yeteneği ile birleştirmektedir. alışmaları sonucunda, Kaotik Genetik Algoritma 'nın, yakınsama hızını ve üzüm hassasiyetini geliştirebileceği sonuçlar elde etmişlerdir.

Celeste ve Billib (2009) hazne işletme prensiplerini geliştirmek için parametreleme-benzetim-eniyileme yaklaşımı önermişlerdir. Önerilen bu yeni yaklaşımda problemin tüm parametreleri dikkate alınarak aynı anda eniyileme ve benzetim tekniklerinin birlikte kullanılması savunulmuştur. Oluşturulan model ile öncelikle problemin sınırları çizilmiş, hazne işletmesi için farklı senaryolar geliştirilmiş ve en iyi sonuç aranmıştır.

Rani ve Moreira (2010) hazne işletme problemlerinde kullanılan benzetim ve eniyileme yaklaşımlarını araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmada klasik eniyileme modelleri ve benzetim modellerine ek olarak, eniyileme-benzetim birleşik modellemesi, bulanık küme teorisi, evrimsel algoritma ve yapay sinir ağları gibi yöntemleri de incelemişlerdir. Bu çalışmalarının amacı, benzetim, eniyileme ve benzetim-eniyileme birleşik modelleme yaklaşımını karşılaştırmaktır. Yapılan

karşılaştırmalar sonucunda; eniyileme modellerinin benzetim modellemesi ile birlikte kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edildiğini kanıtlamışlardır.

Lu ve diğ. (2013), Zhelin haznesi işletme problemi için bir eniyileme yöntemi araştırdı. Bu araştırmanın en önemli sebebi yıllık ortalama yağış miktarının azalması ve dolayısıyla hedeflenen yıllık enerji üretiminin düşmesiydi. Oluşturdukları amaç fonksiyonu, en az su tüketimi ile en çok enerji üretimini gerçekleştirmeyi hedeflemiştir. Bu amaç fonksiyonuna, aşamalı eniyileme algoritması, parçacık sürü eniyilemesi ve genetik algoritma eniyilemesi olmak üzere üç farklı yöntem uygulamışlardır. Bu üç yöntemin sonuçlarına göre, belirlenen amaç fonksiyonunda en iyi sonuçları aşamalı eniyileme algoritması ile elde etmişlerdir.

Özalp (2016), yüksek lisans tezi kapsamında yapmış olduğu çalışmada, Adıgüzel Barajı için hazne işletme çalışması yaparak işletme kural eğrisi geliştirmiştir. Yapılan bu çalışmada haznenin işletileceği en iyi seviyeleri belirlemek için öncelikle Ardışık Akım Ötelemesi yöntemi kullanılmış ve bu seviyelerde en fazla enerji üretimini sağlayacak amaç fonksiyonu tespit edilerek Genetik Algoritmalar yöntemi ile eniyileme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, elde edilen işletme kural eğrisi ile hazne daha yüksek seviyelerde işletilmiş ve 183 aylık işletme dönemi boyunca üretilen toplam enerjiden yaklaşık olarak %14 oranında fazla enerji üretimi yapılabileceği görülmüştür.

Yaşar (2016), yapmış olduğu çalışmada Adıgüzel Barajı hazne işletme sistemini eniyileyerek, Guguk Kuşu algoritması aracılığıyla bir işletme kural eğrisi geliştirmiştir. Eniyileme aşamasında kullanılan algoritma ile haznenin aylık işletme seviyeleri her defasında daha üst seviyelere çekilerek hazne mümkün olan en üst seviyelerde işletilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada Adıgüzel Barajı'nın sulama önceliği dikkate alınarak enerji üretimi en büyüklenmiş ve uzun yıllar boyunca gerçekleşmiş olan toplam enerji üretiminden yaklaşık %10 oranında daha fazla enerji üretimi sağlanabileceği tespit edilmiştir.

2.2 Sıralı Hazne İşletmesi

Sıralı haznelerin işletme eniyilemeleri ile ilgili ilk çalışmalara 1900'li yılların sonlarına doğru dinamik programlama yöntemiyle başlanmıştır. Larson (1968), artımlı dinamik programlama yöntemiyle dört hazneli bir su kaynağı sistemini inceleyen bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmadan etkilenen Heidari ve diğerleri (1971), artırımlı dinamik programlama yöntemini ele alarak, ayrık farksal dinamik programlama adı verilen bir model geliştirmiştir. Heidari ve diğerleri bu çalışmada işlem sayısını azaltmayı amaçlamıştır. Yakowitz (1982), su kaynaklarında kullanılan eniyileme yöntemlerini karşılaştırarak ardışık yaklaşırmalı artırımlı dinamik programlama yönteminin çok hazneli havza sistemlerinde kullanılabilen en iyi yöntemlerden biri olduğunu savunmuştur.

Braga ve diğ. (1991), Sao Paulo Enerji Şirketinin Brezilya'daki çok hazneli sistemine hidroelektrik üretiminin eniyilemesi için bir stokastik dinamik programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model Brezilya hidroelektrik sisteminin bir alt sistemine uygulanmıştır. Model çevrimiçi ve çevrimdışı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Çevrimdışı tek seferlik deterministik bir dinamik program, tüm rezervuarlarda depolanan suyun değerini, çeşitli hazne depolarının ve yılın ayının bir fonksiyonu olarak hesaplamaktadır. Çevrimiçi program, stokastik dinamik programlama ile formüle edilmiş ve operasyonel kullanım için gerçek zamanlı olarak yürütülmüştür.

Karamouz ve diğ. (1992), Baltimore yakınlarında bulunan Gunpowder Nehri Havzasındaki çok hazneli bir su kaynakları sistemine ayrık dinamik programlama uygulamıştır. Bu çalışmada stokastik dinamik programlama ve Bayesian karar teorisi kullanılarak rezervuar sistemlerinin çalışması incelenmiştir.

John Holland ve arkadaşları 1975 yılında ilk kez Genetik Algoritma yaklaşımını ortaya atmıştır. Holland (1975) yayınladığı kitabında canlılarda gerçekleşen genetik süreci sayısal ortamda da gerçekleştirmeyi hedeflediğini ifade etmiştir. John Holland'ın doktora öğrencisi inşaat mühendisi David Goldberg, "Gaz Borularının Genetik Algoritma İle Eniyilenmesi" adlı doktora tezi ile 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazanmış ve bu çalışması ile genetik algoritmaların önemini ortaya çıkarmıştır (Goldberg, 1983).

Genetik algoritmalar, hazne işletme sistemleri eniyilemesinde de birçok uygulamaya sahiptir. Esat ve Hall (1994) genetik algoritmayı dört hazneli su kaynakları problemine uygulamışlardır. Bu çalışmada hazneler için çeşitli kısıtlar oluşturan elektrik üretimi ve sulama suyunun temininden elde dileyebilecek faydaların en büyüklenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca Esat ve Hall bu çalışma ile genetik algoritmaların sıralı hazne işletmesinde önemli bir potansiyel oluşturduğunu ve genetik algoritmaların standart dinamik programlama tekniklerine göre birçok açıdan daha iyi sonuçlara ulaştığını göstermiştir.

Oliveira ve Loucks (1997), çalışmalarında çoklu hazne sistemlerinin çalışma kurallarını değerlendirmek için bir genetik algoritma kullanmıştır. Kullanılan bu genetik algoritmalar, hem sistem salınımını hem de tek başına bir haznenin depolama hacmi hedeflerini, yıllık dönemlerin her birinde toplam depolama fonksiyonları olarak tanımlamaktadır. Olası çalışma ilkelerinin birbirini izleyen kümelerini oluşturmak için, algoritmalarda elitizm, aritmetik geçiş, mutasyon ve " en bloc " değiştirme kullanılmıştır. Belirli bir akış serisi için işletme politikaları geliştirilmiş ve bu politikaların performansları değerlendirilmiştir. Daha iyi performans gösteren politikalar daha sonra yeni olası politika setleri üretmek için bir temel olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada belirlenen kısıtlar ve amaç fonksiyonu doğrultusunda en iyi hazne işletme politikalarının genetik algoritmalarla belirlenebileceğini savunmuşlardır.

Genetik algoritmalar ile ilgili yapmış oldukları çalışmalarında Wardlaw ve Sharif (1999), hazne sistemleri için bir genetik algoritmanın çeşitli alternatif formülasyonlarını kullanarak genetik algoritmalar hakkında şu değerlendirmelerde bulunmuştur; Genetik algoritmalar gerçekte değer kodlaması (onluk sayı tabanlı), ikili kodlamadan (ikilik sayı tabanlı) çok daha hızlı çalışmaktadır ve daha iyi sonuçlara ulaşmaktadır. Genetik algoritma yaklaşımı sağlamdır ve karmaşık sistemlere kolayca uygulanır. Genetik algoritma, rastgele (stokastik) üretilen girdiler ile gerçek zamanlı işletmelerde faydalı bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca genetik algoritma olasılıklı (stokastik) dinamik programlama yaklaşımlarına bir alternatif olabilme potansiyeli sahiptir.

Sharif ve Wardlaw (2000), çoklu hazne sistemlerinin eniyilemesi için bir genetik algoritma yaklaşımı sunmuştur. Sunulan bu yaklaşım, havzadaki mevcut

kalkınma durumunu ve gelecekteki iki su kaynakları geliştirme senaryosunu göz önüne alarak Endonezya'daki bir sıralı hazne sistemine uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda ele alınan her bir durum için, genetik algoritma sonuçlarının en iyiye çok yakın olduğu savunulmuştur.

Labadie (2004) işletmedeki mevcut çoklu hazne sistemlerinde en yüksek verimi elde etmek için bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmanın amacı, haznelerin yüksek boyutlu, dinamik, doğrusal olmayan ve olasılıksal özelliklerinin üstesinden gelmek için hazne sistemi eniyilemesindeki en gelişmiş teknolojiyi ayrıntılı olarak incelemektir. Eniyileme sıralı hazne işletmesine uygulanabilmesine rağmen, bu çalışma ile uygulamanın yalnızca karar değişkenlerinin sistem geliştirme açısından ele alınmasıyla iyileştirilebileceğini tespit edilmiştir.

Haddad ve diğ. (2008) tarafından yapılan bir çoklu hazne işletme çalışmasında, bal arısı çiftleşme eniyilemesi (HBMO: Honey Bee Mating Optimization) kullanılarak sıralı hazne işletme eniyileme problemi çözülmüştür. Çalışmaya konu olan problemin çözümünde nihai olarak kurulu gücün üretilen güce oranı için mümkün olan en yüksek orana ulaşılmaya çalışılmıştır. Bulunan sonuçlara göre önerilen bal arısı çiftleşme eniyileme algoritmasının çoklu hazne işletme probleminde optimale yakın çözüm ürettiği görülmüştür.

Hınçal ve diğ. (2011), çoklu rezervuarların eniyilemesinde Genetik Algoritmanın verimliliğini göstermek için bir çalışma yürüttü. Yaptıkları bu çalışmalarında Colorado Nehrinde bulunan 3 barajlı bir sıralı hazne sistemini genetik algoritma ile çözümlenmiştir. Sistemin enerji üretimini en büyükmek amacıyla yapılan bu çalışmada genetik algoritmanın başarılı sonuçlara ulaştığı görülmüştür.

Afshar ve diğ. (2011), bal arısı çiftleşme eniyileme algoritmasının gelişmiş bir türevini çoklu hazne sistemi işletme çalışmasında kullanmışlardır. Geliştirilen modelde çoklu hazne sistemi için işletme politikası oluşturmak üzere salınma kuralı ve depolama dengeleme işlevleri kullanılmaktadır. Önerilen modelin performansı, bir işletme problemi için gerçek kodlanmış Genetik Algoritmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırarak kontrol edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, bu çalışmada önerilen eniyileme tekniğinin karmaşık çoklu hazne sistemlerinin çalışma problemlerini çözebildiğini göstermiştir.

Yang ve diğ. (2013), basamaklı hazne işletme eniyilemesinin özellikleri ve Genetik Algoritma 'nın erken yakınsama problemi için farklı stratejiler göstermiştir. Birinci strateji, uygulanabilir başlangıç popülasyonu üretmek için çözüm uzayı (alanı) üretmek olmuştur. İkinci strateji, ilk popülasyonu eniyilemek için kaos eniyilemesi bulmak ve üçüncü strateji, negatiflik gerekçesinin üstesinden gelmek ve popülasyon çeşitliliğini korumak için yeni seçici operatörler, trigonometrik seçici operatörler önermektedir. Son olarak, dördüncü strateji, genetik algoritmanın yakınsama hızının performansını yükseltmek için uygulanabilir geçiş ve mutasyon olasılığını kabul etmektir.

Jothiprakash ve Arunkumar (2013) tarafından yapılan çalışmanın amacı, bir NLP modeli kullanarak hidroelektrik enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak ve sulama taleplerini karşılamak için çok sayıda hidroelektrik santrali içeren çoklu rezervuar sistemini eniyilemektir. NLP modeli, hidroelektrik enerji üretimini en büyükmek için Koyna Hidroelektrik Projesine (KHEP) uygulanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, eniyileme kısıtlarının daraltılmasıyla hidroelektrik enerji üretimini artırabileceğini ve en iyi salınımların uzun çalışma periyodu boyunca talebi karşılayabileceğini göstermiştir.

Li ve diğ. (2014), Çin'deki Yangtze Nehri Havzasında çok hazneli bir hidroelektrik sisteminin işletme eniyilemesini yapmak için toplam enerji üretimini en büyükmek amacıyla iyileştirilmiş bir ayrıştırma koordinasyonu ve ayrık diferansiyel dinamik programlamayı (IDC-DDDP: Improved Decomposition-Coordination And Discrete Differential Dynamic Programming) kullanmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntemin, diğer yöntemlere kıyasla toplam enerji üretiminde ve yakınsama hızında tatmin edici performansa sahip olduğu gösterilmiştir.

3. HAZNE İŞLETMESİ

Biriktirmeli barajların planlama ve tasarım amaçlarını en iyi şekilde yerine getirebilmesi için baraj haznesinin içme suyu, sulama suyu, enerji üretimi ve taşkın kontrolü ihtiyaçlarını etkin, sürdürülebilir ve güvenilir bir biçimde karşılayabilmesi gerekmektedir. Haznelerden karşılanması planlanan su talepleri belli olmasına rağmen gelecekteki hazne giriş akımlarının belirsiz olması, hazne depolama hacimlerinin ve haznedeki bırakılacak su miktarlarının belirlenmesi önemli bir problem oluşturmaktadır. Günümüzde işletmede olan biriktirmeli barajların büyük bir çoğunluğunda hazne ihtiyaçlarının karşılanması için hazne işletme çalışmaları yapılarak, haznenin ne zaman ne kadar biriktirme yapacağı ve ne zaman ne miktarda salınım yapacağı belirlenmeye çalışılmaktadır.

Uzun yıllar içerisinde, yılın farklı mevsimlerinde, sulak ve kurak dönemlerde akarsuların ortalama debileri önemli anlamda farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle gerek yıl içerisinde suyun bol olduğu mevsimlerden suyun az olduğu mevsimlere gerekse uzun yılları kapsayan zaman periyotlarda sulak dönemlerden kurak dönemlere suyun aktarılması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan hazne işletme çalışmaları, hazne işletme politikalarının belirlenmesini amaçlamaktadır.

Bir hazne sistemi planlanırken sistem performansının zaman içerisinde değişen mevcut su taleplerini karşılaması göz önüne alınır. Hazne sisteminin işletilmesi ve planlanmasında amaç kütle denge denklemleri ve diğer kısıtlar altında faydaları en büyükmek, masrafları en küçükmek, değişken su taleplerini karşılamaktır (Rani ve Moreira, 2009).

Hazne işletme çalışmaları tek hazneli ve çok hazneli sistemler için yapılabilmektedir. Hatta günümüzde azalan su kaynakları da göz önüne alındığında bölgesel su taleplerinin karşılanması yerine havzanın su taleplerinin bir bütün olarak ele alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle hazne işletmelerinin tek başına çalışması yerine birden fazla haznenin bulunduğu havzalarda, bir hazne sistemi için sıralı hazne işletme çalışması yapılması haznelerden beklenen taleplerin daha verimli ve en iyi şekilde karşılanmasını sağlamaktadır.

3.1 Ardışık Akım Öteleme Yöntemi

Hazne işletme çalışması kütle denge denklemleri ile hazneye giren akımlar, hazneden çıkan akımlar ve kayıpların hesaplanması ile kurgulanmaktadır. Hazne işletme çalışmalarının ilk aşaması ardışık akım öteleme yönteminin uygulanmasıdır. Bu yöntem, hazne ve sıralı hazne sistemlerinin biriktirme potansiyelini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem aşağıda ifade edilen süreklilik denkleminde dayanmaktadır.

$$\Delta V = I - O - L \quad (3.1)$$

Bu denklemde ifade edilen;

ΔV : Haznede biriken su hacmindeki değişimi,

I : Hazneye giren akım miktarını,

O : Hazneden çıkan akım miktarını,

L : Haznedeki buharlaşma, sızma ve benzeri nedenlerden oluşan su kayıplarını ifade etmektedir.

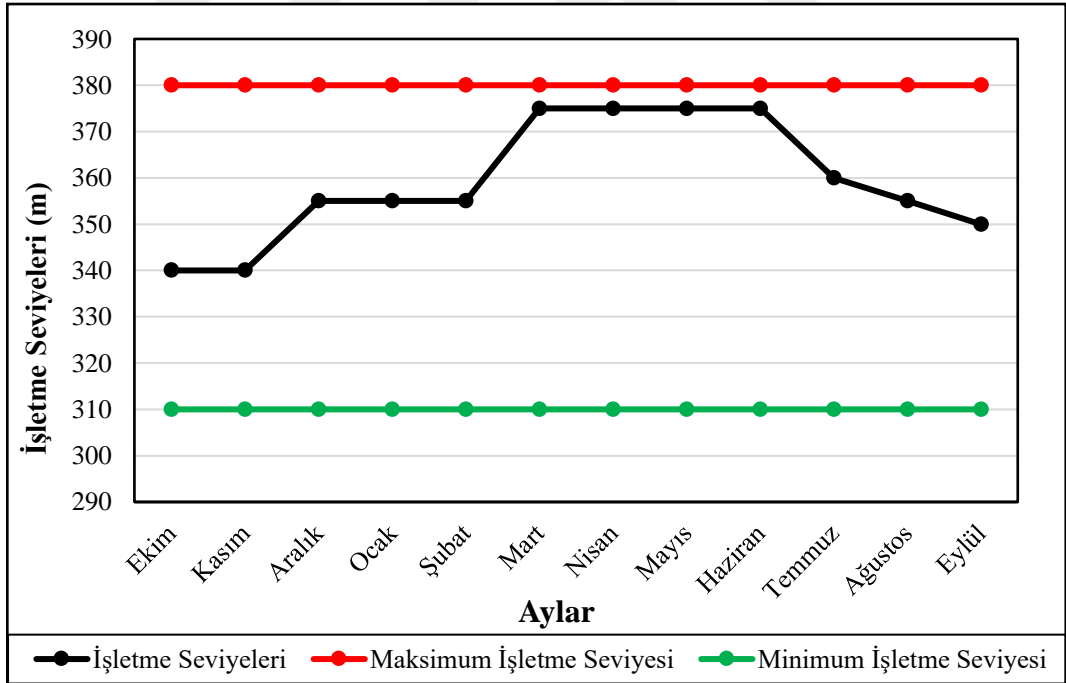
Bu denklem, işletme süresi boyunca ardışık olarak uygulanır ve böylece çalışma periyodundaki işletme kayıtları elde edilir. Bu yöntem su temininde, taşkın kontrolünde, sulamada ve enerji üretimi için hazne işletmelerinin modellenmesinde kullanılabilir.

Bu yöntemin en önemli faydası düşünün akımdan bağımsız olarak değiştiği projelerde (biriktirmeli hidroelektrik santral projeleri) kullanılabilmesidir. En önemli zayıflığı ise oldukça karmaşık olmasıdır. Uzun dönemler için günlük çalışmalar yapmak çok fazla hesaplama zamanı gerektirdiği için, çoğunlukla haftalık veya aylık zaman aralıkları kullanılır (US Army Corps of Engineers, 1985).

3.2 Hazne İşletme Kural Eğrisi

Uzun yıllar ölçülmüş akımların ardışık akım öteleme yöntemiyle modellenmesi sonucunda haznenin her ay için giren ve çıkan akımları belirlenir. Uzun dönem hazne işletmesi için temel kurallar ardışık akım ötelemesinde kullanılan giriş akımları, çıkış akımları, su kayıpları, depolama kapasiteleri vb. değişkenler dikkate alınarak belirlenmektedir. Yapılan çalışmalarda en iyi hazne işletme kurallarının belirlenmesi sonucunda, her dönem için en uygun hazne seviyelerini gösteren ve haznenin uzun dönem işletme planını ifade eden hazne işletme kural eğrisi oluşturulur. Örnek bir hazne işletme kural eğrisi Şekil 3.1’de verilmektedir.

Bilindiği üzere kural eğrisi haznenin yılın değişik zamanları için haznenin hangi kotta (dolulukta) beklemesi gerektiğini belirlemektedir. Dolayısı ile dolusavaktan su atılmasını minimize ederek ilgili suyun üretimde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.1: Örnek bir hazne işletme kural eğrisi

Bir haznenin en iyi şekilde işletilmesi için hazne işletme kuralları ve kısıtları sonucunda elde edilen hazne işletme kural eğrileri birden fazla haznenin yer aldığı çoklu hazne sistemlerinde çok daha etkili çözümler üretebilmektedir. Bir havzada

bulunan sıralı haznelerin birlikte işletilerek işletme kural eğrilerinin çıkarılması haznelerin birbirine olan etkilerini de dikkate almaktadır. Özellikle aynı akarsu üzerindeki sıralı haznelerin işletilmesi esnasında haznelerin birbirlerine olan etkileri işletme sonuçlarında çok önemli farklılıklar yaratabilmektedir.

Sıralı haznelerin eşzamanlı işletilmesi daha az su tüketimi ile daha fazla enerji üretimine imkân tanımaktadır. Dünyadaki diğer örnekleri gibi, Türkiye'deki büyük akarsular üzerinde yer alan biriktirmeli hidroelektrik santraller de genellikle kaskat sistem olarak planlanmıştır. Aynı akarsu üzerinde kurulan birçok biriktirmeli tesis düşünüldüğünde hazne işletme çalışmalarının noktasal değil de bölgesel olarak yapılması daha verimli sonuçlar elde etmeyi sağlayacaktır. Bu çalışmada da Büyük Menderes Nehri ana kolu üzerinde yer alan Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı'na sıralı hazne işletme eniyilemesi uygulanmıştır.

Ardışık akım öteleme yöntemiyle yapılan modellemelerin bilgisayar desteğiyle bir eniyileme problemi şeklinde çözülmesi sonucunda elde edilen hazne işletme kural eğrilerini oluşturmak için bilim adamları ve araştırmacılar tarafından literatürde birkaç farklı yöntem bilimi önerilmiştir. Wurbs (2005) hazne işletme kural eğrilerini elde etmek için literatürde önerilmiş ve kullanılan farklı yöntemlerin kapsamlı bir özetini sunmuştur. Hazne işletme kural eğrilerinin geliştirilmesi için altı farklı ana yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar; deneme-yanılma yöntemi, dinamik programlama yöntemi, stokastik dinamik programlama yöntemi, aşamalı optimallik ilkesi ile dinamik programlama, genetik algoritma metodu ve parametreleştirme-eniyileme-benzetim yaklaşımıdır.

3.2.1 Deneme Yanılma Yöntemi:

Hazne eğrisi politikalarının geliştirilmesi deneme yanılma yaklaşımlarıyla başlamaktadır. Deneme yanılma tekniği hem basit hem de karmaşık sistemler için daha anlaşılabilir ve uygulanabilir. Ancak deneme yanılma yöntemi ile elde edilen hazne işletme kural eğrileri her zaman çok faydalı sonuçlara ulaşmamaktadır. Bu nedenle literatürde var olan bu yöntem günümüzde hazne işletme kural eğrilerinin geliştirilmesinde pek tercih edilmemektedir.

3.2.2 Dinamik Programlama Yöntemi:

Su kaynaklarının doğrusal olmayan problemlerini analiz etmek için dinamik programlama yöntemi geliştirilmiştir. Hazne işletme eniyileme problemlerinin çözümünde de dinamik programlama kullanılmaktadır. Hazne işletme kural eğrilerinin elde edilmesi için yapılan çalışmalarda, dinamik programlama çalışmalarının çoğu deterministik eniyileme modellerini kullanmaktadır. Dinamik programlama çalışmaları gelecekteki değişkenlerin belirsizliklerini dikkate almamakta ve genel olarak gerçek hidrolojik koşulları temsil etmemektedir (Hornwichean ve diğ. 2009). Haznelerin giriş akımlarının beklenen değerleri hidrolojik koşullara uygun olmadığı ya da giriş akımlarının uzun süreli güvenilir tahminlerinin olmadığı durumlarda bu belirsizlikler önemli hale gelmektedir (Özalp 2016). Her ne kadar geçmişte yapılan birçok çalışmada dinamik programlama yöntemi kullanılmış olsa da günümüzdeki çok değişkenli ve çok hazneli işletme problemlerinde dinamik programlama yöntemi yeterli verimlilikte çözüm üretmekte zorlanmaktadır. Özellikle sıralı haznelerin işletme kural eğrilerinin elde edilmesinde dinamik programlama yönteminin çözümleri yeterli bulunmamaktadır.

3.2.3 Stokastik Dinamik Programlama Yöntemi:

Stokastik dinamik programlama, dinamik programlamanın eksiklerinin giderilerek iyileştirilmesi ile geliştirilmiştir. Hazne işletme kural eğrilerinin elde edilmesinde stokastik dinamik programlama yöntemiyle geliştirilen kural eğrilerinin çok daha verimli sonuçlara ulaştığı görülmüştür. Örneğin, Liu ve diğerleri (2011), sıralı hidroelektrik santraller için en uygun hazne işletim kurallarını geliştirmek üzere stokastik dinamik programlama yöntemini incelemiş ve sonuçları geleneksel işletme kural eğrileri ile karşılaştırmıştır. Stokastik dinamik programlama yöntemi ile elde edilen kural eğrilerinin, geleneksel işletme kural eğrilerine göre çok daha başarılı sonuçlara ulaştığı görülmüştür. Ancak, stokastik programlama yönteminin boyutsal problemler nedeniyle çoklu hazne sistemleri için sınırlı olduğu gözlemlenmiştir.

3.2.4 Aşamalı Optimallik İlkesi İle Dinamik Programlama Yöntemi:

Kangrang ve diğ. (2007), dinamik programlama ve stokastik dinamik programlama yöntemlerinin boyutsal problemlerini gidermek ve optimum kural eğrileri elde etmek için aşamalı optimallik ilkesi ile dinamik programlama isimli bir teknik türetmiştir. Bununla birlikte, uygulamanın en önemli eksiği, çok karmaşık bir yapıda olmasıdır.

3.2.5 Genetik Algoritma Yöntemi:

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü aramaktadır. (Elen ve Turan 2013)

Genetik algoritma yöntemi John Holland ve diğerleri (1975) tarafından geliştirilmiştir. Genetik algoritmalar, hazne işletme sistemleri eniyilemesinde de birçok kez kullanılmıştır. Genetik algoritma yöntemi fazla sayıda kısıt içeren ve karmaşık yapıya sahip eniyileme problemlerinin çözümünde oldukça etkili olmaktadır. Özellikle genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir.

Sıralı hazne işletme problemlerinin çok sayıda değişkenlere ve kısıtlara sahip olması ve amaç fonksiyonunun tek hazne işletmesine göre daha karmaşık olması işletme kural eğrilerinin elde edilmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle genetik algoritma yöntemi sıralı haznelerin hazne işletme kural eğrilerini elde etmekte daha başarılı olmaktadır.

Esat ve Hall (1994) tarafından yapılan sıralı hazne çalışmasında genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Yapılan bu sıralı hazne işletme çalışmasında elektrik üretimi ve sulama suyunun temininden elde dileyebilecek faydaların en büyüklmesi amaçlanmıştır. Esat ve Hall bu çalışma ile genetik algoritmaların sıralı

hazne işletmesinde standart dinamik programlama tekniklerine göre birçok açıdan daha iyi sonuçlara ulaştığını göstermiştir.

3.2.6 Parametreleştirme-Optimizasyon-Benzetim Yaklaşımı:

Celeste ve Billib (2009) yeni bir çözüm olarak rezervuar işletme kurallarını geliştirmek için parametreleme-benzetim-eniyileme yaklaşımı önermiştir. Bu yaklaşımda, tüm değişkenleri göz önünde bulundurarak aynı anda eniyileme ve benzetim modelleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda ilk olarak parametreler tanımlanır ve bu parametrelerle bir ön kural elde edilir. Süreç devam eder ve en iyi senaryoya ulaşmak için rezervuar farklı kombinasyonlar için çalıştırılmaktadır.

4. PROJE SAHASININ TANITILMASI

Sıralı barajların belirlenen kısıtlar çerçevesinde en az su tüketimi ile en çok enerji üretimi gerçekleştirebilmesi için yapılan bu sıralı hazne işletme eniyileme çalışması kapsamında Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali ile Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali projeleri örnek çalışma sahası olarak seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı projeleri Batı Anadolu'nun en büyük nehri olan Büyük Menderes Nehri ana kolu üzerinde yer almaktadır.



Şekil 4.1: Çalışma alanının Türkiye'deki yeri

Bu tez kapsamındaki örnek çalışma alanı olan Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı tesisleri Denizli ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Örnek çalışma alanın Türkiye'deki yeri Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

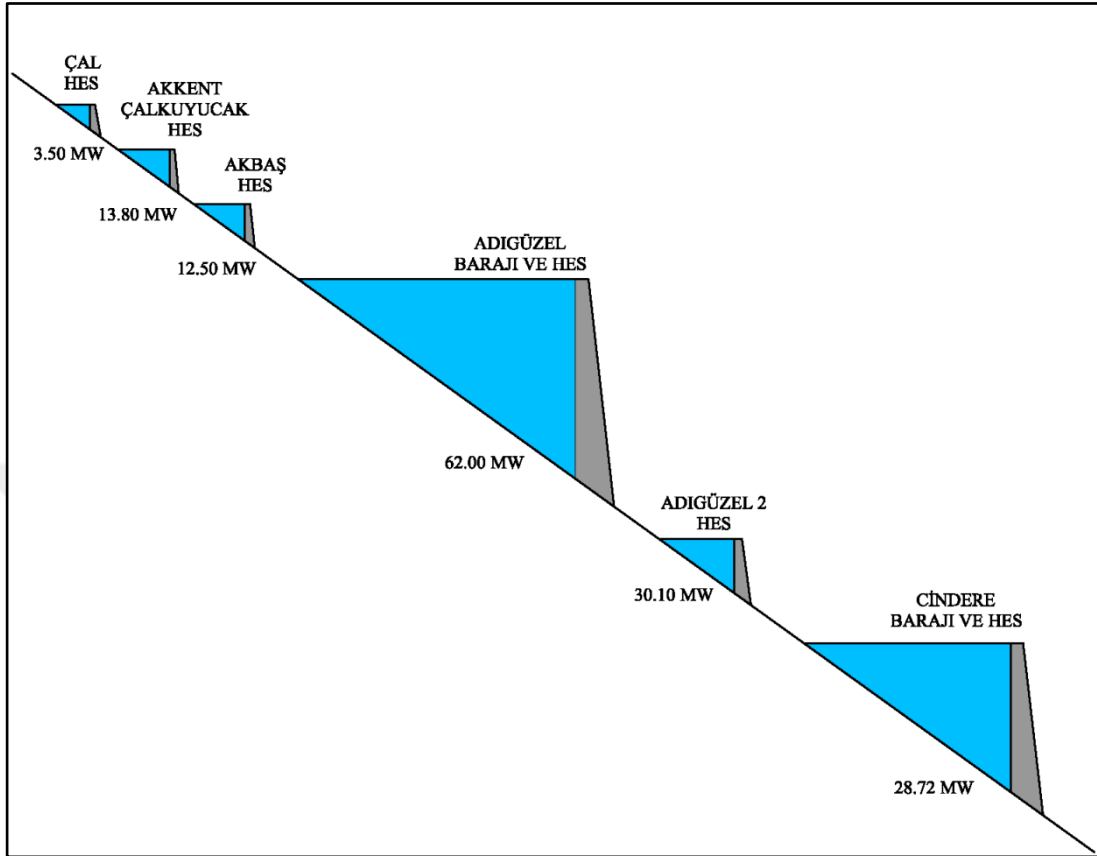
Büyük Menderes Havzasının ana sulama kaynağı olan 584 km uzunluğundaki Büyük Menderes Nehri Afyonkarahisar ilinin Dinar İlçesi yakınlarında Suçikan Mevkii'nden doğan suların, Işıklı Gölü'nde toplanan Küfi Çayları ile birleşmesiyle oluşmaktadır. Büyük Menderes Nehri, Işıklı Gölü'nden sonra Denizli ilinin Çal, Bekilli ve Güney ilçelerinden geçip Banaz Çayı'nı da bünyesine katarak Sarayköy Ovası'na inmektedir. Denizli hudutları içindeki Çürüksu ve Gökpınar çaylarıyla beslenerek batı yönünde ilerleyen Büyük Menderes Nehri, son olarak Akçay, Çine ve

Işıklı Gölü'nde toplanan memba akarsuları Küfi Çayları ile birleşerek yan kolların da katılmasıyla birlikte Büyük Menderes Nehri'ni oluşturmaktadır. Mansaba doğru ilerledikçe Banaz Çayı suları da Büyük Menderes Nehrine katılarak Adıgüzel Barajı göl alanına dökülmektedir. Adıgüzel Barajında toplanan sular düzenlenerek membaya salınır ve ara havzadaki yan kollarında katılımı ile birlikte Cindere Barajı göl alanına katılır. Buradan sonra Büyük Menderes Nehri mansaptaki tarım alanlarını sulamak üzere ovalara doğru ilerlemektedir. Bu tez çalışması kapsamında örnek çalışma alanı olarak incelenen Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı'nı besleyen akarsular Şekil 4.3'te gösterilmektedir (Orman Ve Su İşleri Bakanlığı GeoData uygulaması [online]).

Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Denizli ve Uşak illerinin sınırları içerisinde Büyük Menderes Nehri üzerindedir. Devlet Su İşleri tarafından sulama, enerji üretimi ve taşkın kontrolü amacıyla planlanan Adıgüzel Barajı inşaatına 1976 yılında başlanmış ve barajın yapımı 1989 yılında tamamlanmıştır. Baraj gövdesi kil çekirdekli kaya dolgu tipinde planlanmış ve inşa edilmiştir. Talvegden 144 metre yükseklikte, gövde hacmin 7.125.000 m³ olan Adıgüzel Barajı toplam 1.076 hm³ göl hacmine ve 25,97 km² göl alanına sahiptir. Adıgüzel Barajı 1990 yılında öncelikle sulama amacıyla işletmeye açılan tesis günümüzde 89.600 hektarlık bir alana sulama hizmeti sağlamaktadır. Adıgüzel Hidroelektrik Santrali toplam 62 MWe kurulu güce ve yıllık 280 GWh elektrik üretim potansiyeline sahiptir (DSİ Genel Müdürlüğü Adıgüzel Barajı [online]).

Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Denizli'nin Güney ilçesi sınırları içerisinde, Büyük Menderes Nehri üzerinde, Adıgüzel Barajı mansabında yer almaktadır. Cindere Barajı Devlet Su İşleri tarafından sulama ve enerji üretimi amacıyla planlanmıştır. Barajın inşaatı 1995-2007 yılları arasında Devlet Su İşleri kontrolünde tamamlanmıştır. Silindirle sıkıştırılmış katı dolgu (SSKD) gövde tipinde olan Cindere Barajı'nın gövde hacmi 1.500.000 m³ ve talvegden yüksekliği 72 metredir. Normal su kotunda göl hacmi 84,27 hm³ ve göl alanı 2,82 km²'dir. Cindere Barajı 2008 yılında işletmeye açılmış ve 78.060 hektarlık bir alana sulama hizmeti vermeye başlamıştır. Cindere Hidroelektrik Santrali toplam 29,31 MWe kurulu gücüne ve fizibilite hesaplamalarına göre yıllık 88,10 GWh enerji üretimine sahiptir (DSİ Genel Müdürlüğü Cindere Barajı [online]).

Bu tez kapsamındaki Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı' nın bulunduğu Büyük Menderes Nehri bir bölümüne ait boy kesit Şekil 4.4'te sunulmuştur.

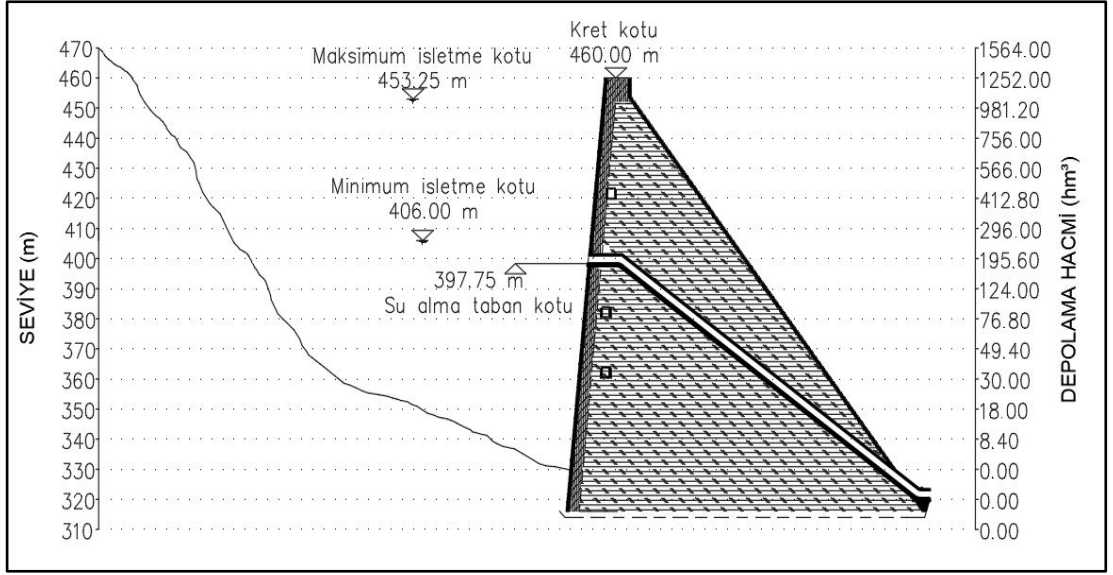


Şekil 4.4: Büyük Menderes Nehri ana kolu üzerindeki hidroelektrik santraller

4.1 Proje Sahasının Coğrafi Özellikleri

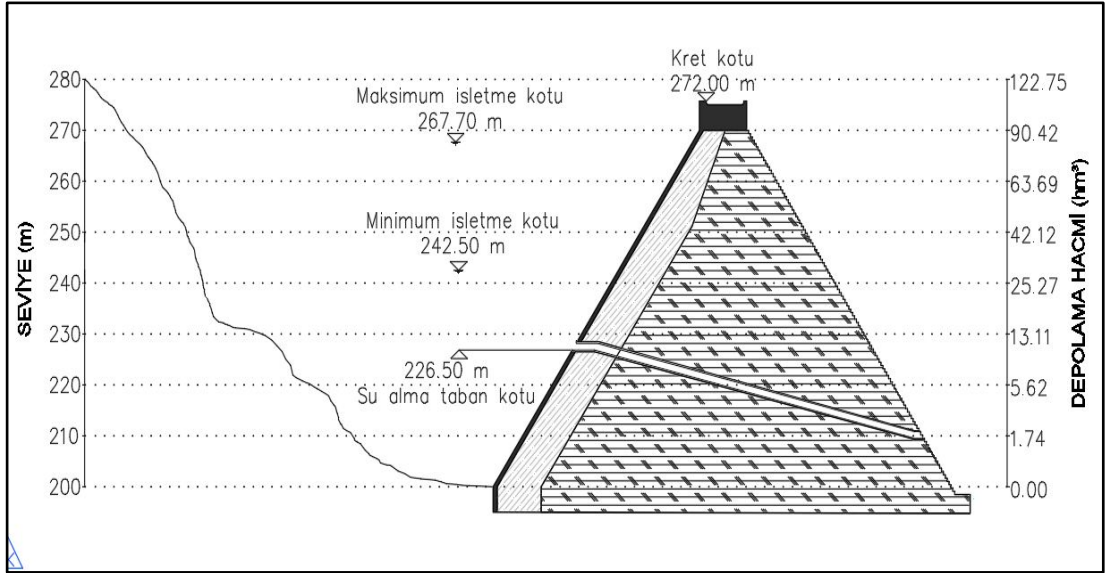
Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Büyük Menderes Havzası'nda Denizli ve Uşak il sınırları içerisinde Büyük Menderes Nehri üzerinde, 1/25000'lik Uşak L22-d2 paftasında ve 693 262 Doğu, 4 225 706 Kuzey koordinatlarında yer almaktadır. Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali Büyük Menderes Nehri üzerinde 453,50 metre maksimum su kotu ile 317,75 metre kuyruk suyu kotu arasında işletilmektedir.

Adıgüzel Barajı şematik gövde kesiti Şekil 4.5'de gösterilmektedir. Şekil 4.5'de de görüldüğü gibi Adıgüzel Barajı haznesi 453,25 metre maksimum su kotu ile 406,00 m minimum su kotu aralığında işletilmektedir.



Şekil 4.5: Adıgüzel Barajı Şematik Gövde Kesiti

Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Denizli il sınırları içerisinde, Büyük Menderes Nehri üzerinde, 1/25000'lik Uşak L22-d4 paftası içerisinde ve 678 375 Doğu, 4 220 586 Kuzey koordinatlarında yer almaktadır. Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali Büyük Menderes Nehri üzerinde 267,70 metre maksimum su kotu ile 314,30 metre kuyruk suyu kotu arasında işletilmektedir.



Şekil 4.6: Cindere Barajı Şematik Gövde Kesiti

Cindere Barajı şematik gövde kesiti Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Şekil 4.6'dan görüleceği gibi Cindere Barajı haznesi 267,70 metre maksimum su kotu ile 242,50 m minimum su kotu aralığında işletilmektedir.

Adıgüzel Hidroelektrik Santralinde türbinlenen sular enerjisi alındıktan sonra tekrar Büyük Menderes Nehri'ne bırakılarak Adıgüzel Barajı ile Cindere Barajı arasında bulunan nehir tipindeki Adıgüzel-2 HES'e ulaştırılmaktadır. Bu aşamadan sonra Cindere Barajı göl alanına iletilen sular Cindere HES 'te türbinlendikten sonra Sarayköy-Pamukkale Ovası Sulamasını ve Aydın ilindeki tarım arazilerinin sulamasını sağlamaktadır.

4.2 İklim Ve Su Kaynakları

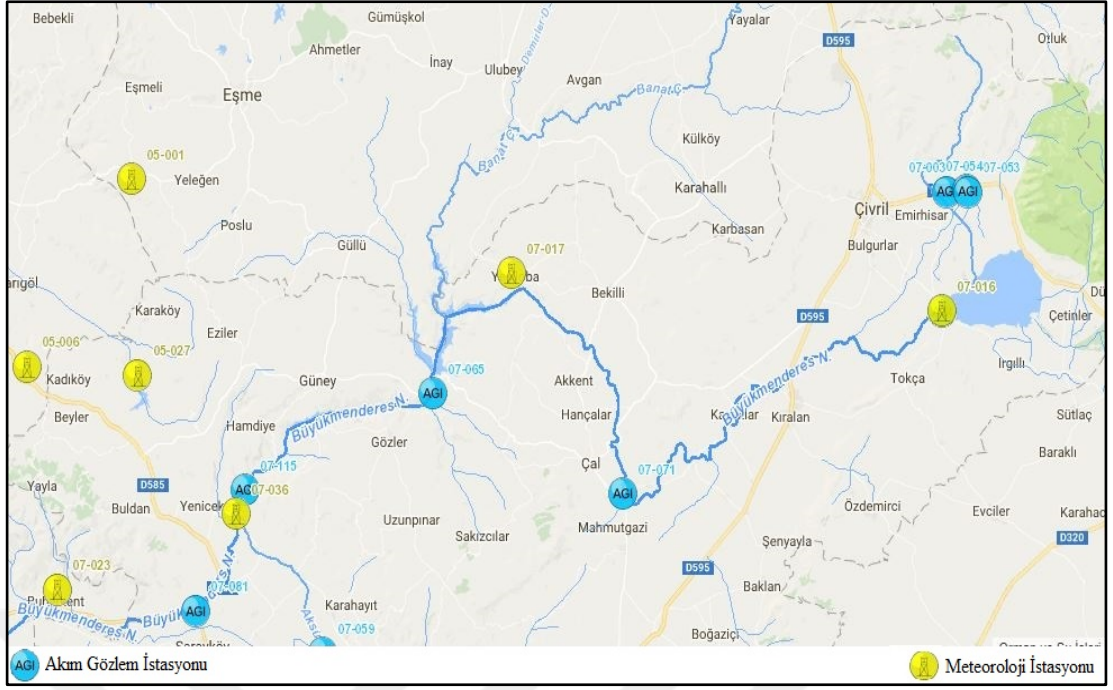
4.2.1 İklim

Denizli ili, Güney ilçesi sınırları içerisinde bulunan çalışma sahasında kışları ılık ve yağışlı, yazları kurak ve sıcak geçen Akdeniz ikliminden, kışları soğuk ve yağışlı, yazları sıcak geçen karasal iklime geçiş iklimi görülmektedir. (Büyük Menderes Cindere Projesi Planlama Raporu, 1986) Çalışma alanının bulunduğu bölgede gerçekleşen ortalama sıcaklıklar -11 °C ile +44 °C arasında değişmektedir.

4.2.2 Meteoroloji

Bölgede yer alan meteoroloji istasyonları Işıklı (DSİ) Çivril (DMİ), Çal (DMİ), Güney (DMİ), Denizli (DMİ)'dir. Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonları ise Denizli ilinin Güney ilçesindeki DMİ meteoroloji istasyonu ile DSİ tarafından Adıgüzel Barajı'nda işletilen meteoroloji istasyonudur.

Bu tez kapsamında yapılan hazne işletme çalışmalarında, Denizli meteoroloji istasyonuna ait yağış ve buharlaşma verileri kullanılmıştır. Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı'nın yer aldığı bölgede bulunan aktif meteoroloji istasyonlarını ve akım gözlem istasyonlarını gösteren bulduru haritası Şekil 4.7'de verilmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı GeoData uygulaması [online]).



Şekil 4.7: Akım gözlem istasyonu ve meteoroloji istasyonu bulduru haritası

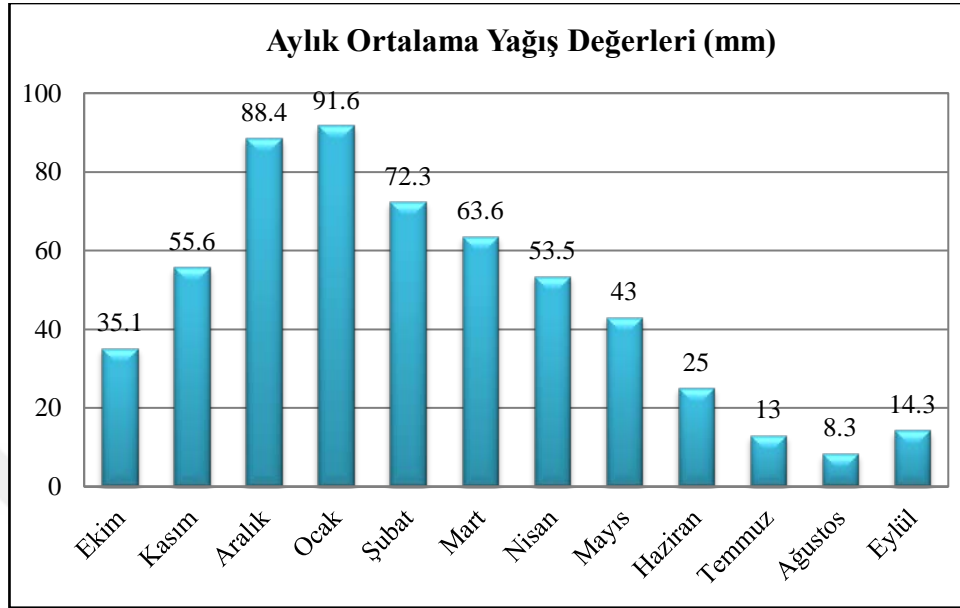
4.2.3 Yağış

Denizli iline kışın Akdeniz'den gelen ılık ve nemli hava orografik yağış sağlamaktadır. Orografik yağışlara yamaç yağışları da denmektedir. Orografik yağış; bir yamaç boyunca yükselen nemli hava kütesinin soğuyarak yoğunlaşması sonucu oluşan yağışlardır. Yamaç yağışları çoğunlukla dağın üst kısmına kar, alt kısmına yağmur halinde düşer.

Denizli ilinde hava kitleleri toplanarak ve orografik tesirlere maruz kalarak ve kıyılarına yağış sağlayarak iç kesimlere doğru ilerlemektedir. Yazlar kurak olmakla beraber yukarı havzada şiddetli yağmurlar görülmektedir. Denizli ilinde genel olarak kışlar yağışlı ve ılık geçmektedir. Bu bölgede yıllık toplam yağış miktarı yaklaşık 550 milimetredir.

Bu tez kapsamında örnek çalışma alanı olan bölgede yıllık toplam yağış miktarı kurak ve yağışlı dönemler dikkate alındığında 300 mm ile 600 mm arasında değişmektedir. Ancak mevsim normallerinde çalışma sahasının yıllık toplam yağış miktarı yaklaşık 560 mm mertebelerindedir.

Çalışma sahasının aylık ortalama yağış miktarları da Şekil 4.8’de görüldüğü üzere 8 mm ile 92 mm aralığında değişmektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü Denizli [online]).



Şekil 4.8: Denizli meteoroloji istasyonu aylık ortalama yağış değerleri

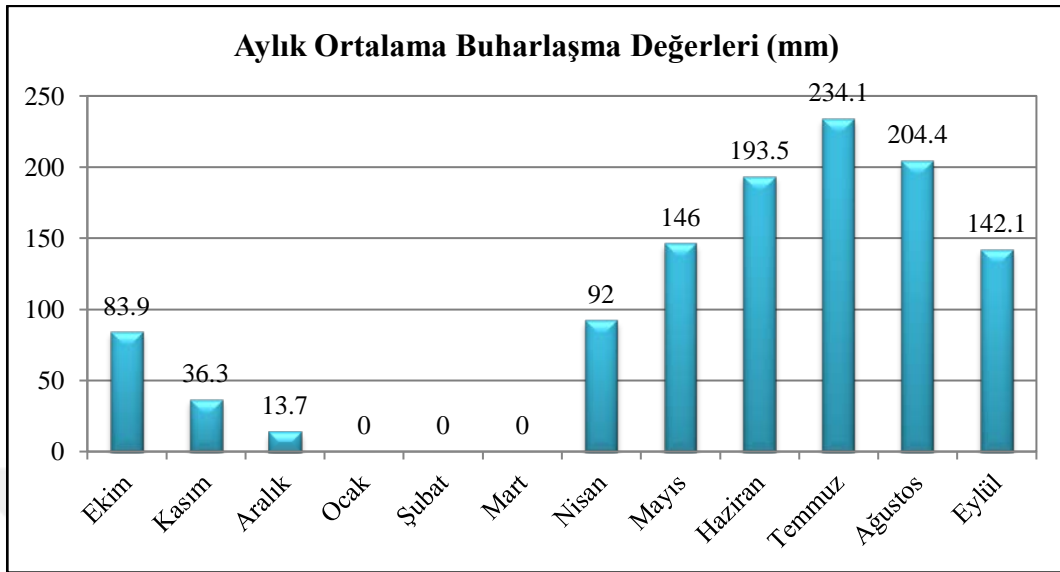
4.2.4 Buharlaşma

Çalışma sahasında gerçekleşen buharlaşma kayıplarının hesaplanabilmesi için DSİ Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı Rasatlar Şube Müdürlüğü’nden temin edilen, Devlet Meteoroloji İşleri işletmesindeki 17237 No’lu Denizli Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılmıştır.

Denizli Meteoroloji İstasyonu tarafından 1971 ile 2005 yılları arasında yapılan buharlaşma ölçümlerinin aylık ortalama değerleri Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Bu ölçümler kullanılarak haznelerin işletilmesi esnasında yaşanan buharlaşma kayıpları hesaplanmış ve haznelerin işletilmesinde bu kayıplarda dikkate alınmıştır.

Denizli Meteoroloji İstasyonu tarafından yapılan buharlaşma ölçümleri milimetre birimindedir. Ancak haznelerin işletilmesi esnasında aylık hazne göl alanı

büyüklikleri de dikkate alınarak buharlaşma sonucu yaşanan su kayıpları hektometreküp türünden hesaplanmıştır.



Şekil 4.9: Denizli meteoroloji istasyonu aylık ortalama buharlaşma değerleri

4.2.5 Su Kaynakları

Çalışma sahasının yerüstü su kaynağını Büyük Menderes Nehri oluşturmaktadır. Büyük Menderes Nehri Afyon'un Dinar ilçesi yakınlarından doğmaktadır ve Dinar suyu adını aldıktan sonra Dinar ovasını geçerek Işıklı Gölüne girmektedir.

Büyük Menderes nehrinin diğer kolunu oluşturan Küfi çayı, Afyon'un güneybatısındaki dağlardan doğarak Sandıklı ovasını geçtikten sonra Işıklı Gölüne ulaşmaktadır. Işıklı gölünde toplanarak çıkan sular, Baklan ovasını geçerek Adıgüzel Barajı göl alanına ulaşmaktadır. Burada, Uşak ilinin Banaz İlçesindeki Murat dağından doğan ve Büyük Menderes 'in yukarı havzasının önemli bir kısmını oluşturan Banaz Çayı da Adıgüzel Barajı göl alanına dökülerek Büyük Menderes Nehri ile birleşmektedir. Daha sonra Adıgüzel Barajı'ndan çıkan sular Adıgüzel Barajı ile Cindere Barajı ara havzasındaki suların da katılımıyla birlikte Cindere Barajı göl alanına dökülmektedir. Büyük Menderes Nehri Cindere Barajı'nı geçtikten sonra Yenicekent, Sarayköy, Nazilli, Aydın ve Söke ovalarını kat ederek Ege Denizi'ne dökülmektedir (I. Merhale Projeleri Büyük Menderes Nehir Havzası, 1969).

4.2.5.1 Su Temini

Çalışma sahasında Adıgüzel Barajı'nın mansabında DSİ tarafından işletilmekte olan D07-065 No'lu Büyük Menderes Nehri-Adıgüzel akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmaktadır. Büyük Menderes Nehri-Adıgüzel AGİ 1968 yılında işletmeye açılmıştır ve 1970 su yılından itibaren düzenli akım gözlem kayıtları mevcuttur. Adıgüzel Barajı'nın 1990 yılında işletmeye açılmasından itibaren bu AGİ ile düzenlenmiş baraj çıkış akımlarının ölçümü yapılmaktadır.

Akım gözlem istasyonu tarafından ölçülen akımların günlük akımlar olması ve bu tez kapsamında yapılan hazne işletme çalışmalarında aylık hazne işletmesi yapılması nedeniyle çalışmalarda AGİ değerleri kullanılmamıştır.

Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı haznelerinin işletme çalışmasında, EÜAŞ Adıgüzel HES İşletme Müdürlüğü tarafından tutulan yıllık işletme kayıtlarının verilerinden yararlanılmıştır. Adıgüzel HES İşletme Müdürlüğü Adıgüzel Barajı göl alanına giren akımları günlük olarak ölçmüş ve aylık işletme tabloları şeklinde özetleyerek işletme dönemi boyunca göl alanına aylık giren akımların tespitini yapmıştır. Adıgüzel Barajı hazne işletmesi bu veriler kullanılarak yapılmıştır.

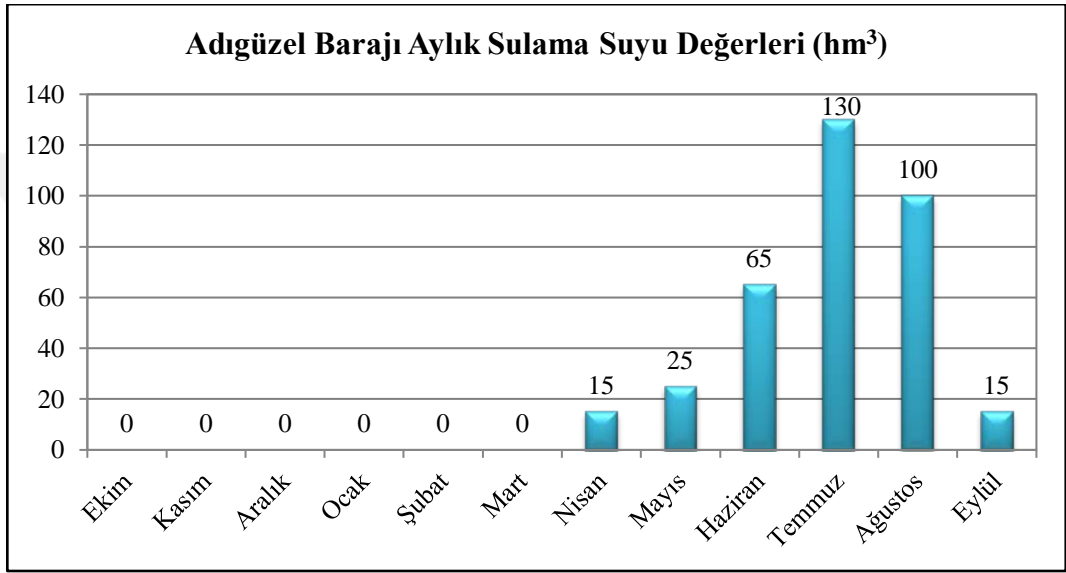
Cindere Barajı hazne işletme çalışması öncesinde, Adıgüzel Barajı ile Cindere Barajı arasında kalan 344 km²'lik ara havzanın akımları su temini analizleri ile tespit edilmiştir. Daha sonra Adıgüzel Barajı çıkış akımları ile ara havza akımları toplanarak Cindere Barajı giriş akımları elde edilmiştir. Cindere Barajı'nın hazne işletme çalışması da bu veriler kullanılarak yapılmıştır.

4.2.5.2 Sulama

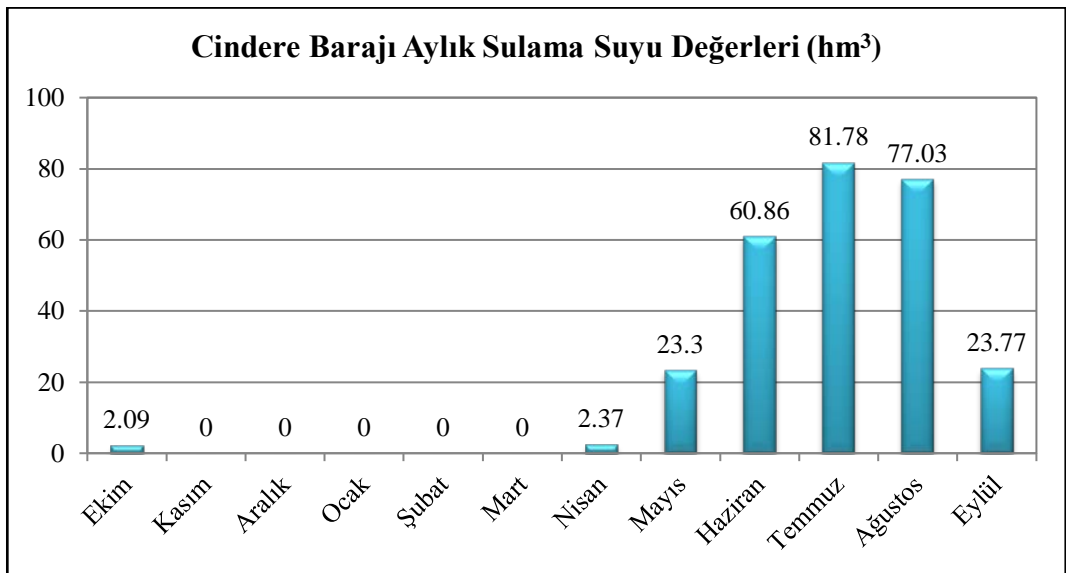
Tez çalışması kapsamındaki Adıgüzel Barajı sulama, taşkın koruma ve enerji üretimi amacıyla, Cindere Barajı ise sulama ve enerji üretimi amacıyla işletilmektedir. Toplam 89.600 hektarlık alana sulama hizmeti veren bu tesislerden 1076 hm³ depolama hacmine sahip olan Adıgüzel Barajı ana depolama görevini üstlenmiştir.

Adıgüzel Barajı'nın ve Cindere Barajı'nın aylık sulama suyu miktarları Devlet Su İşleri 21. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan hazne işletme çalışmalarında her iki barajın da sulama verileri dikkate alınarak hazneler işletilmiştir. Ancak hazne işletme çalışmalarında sulama suyu dip savaktan bırakılmak yerine enerjisi alınarak santral binasından bırakılmıştır.

Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı hazne işletme çalışmalarında kullanılan aylık ortalama sulama suyu miktarları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10: Adıgüzel Barajı aylık ortalama mansap sulama suyu ihtiyaçları



Şekil 4.11: Cindere Barajı aylık ortalama mansap sulama suyu ihtiyaçları

4.3 Adıgüzel Barajı Ve Hidroelektrik Santrali

Devlet Su İşleri 21. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin karakteristik özellikleri Tablo 4.1' de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali karakteristik özellikleri

Adıgüzel Barajı	
1/25.000'lik Harita Adları	: Uşak L22-d2
UTM 6° Koordinatları	: 693 262 D, 4 225 706 K
İli / İlçesi	: Denizli / Güney
Havza Adı	: Büyük Menderes Havzası (07)
DSİ Bölgesi	: 21.Bölge
Akarsu Adı	: Büyük Menderes Nehri
Amacı	: Sulama + Taşkın Koruma + Enerji
Hidroloji	
Yağış alanı (km ²)	: 9.006
Yıllık Ortalama Akış (hm ²)	: 710
Yıllık Sulama Alanı (ha)	: 89.600
Baraj Gövdesi	
Gövde Tipi	: Kil Çekirdekli Kaya Dolgu
Gövde Hacmi (m ³)	: 7.125.000
Talveg Kotu (m)	: 316,00
Kret Kotu (m)	: 460,00
Gövdenin Talvegden Yüksekliği (m)	: 144,00
Maksimum Su Kotu (m)	: 457,70
Maksimum İşletme Kotu (m)	: 453,50
Minimum İşletme Kotu (m)	: 406,00
Kuyruk Suyu Kotu (m)	: 317,70 – 319,70
Maksimum İşlet. Kotunda Göl Hacmi (hm ³)	: 1.076
Maksimum İşlet. Kotunda Göl Alanı (km ²)	: 25,97
Baraj Aktif Hacmi (hm ³)	: 821,60

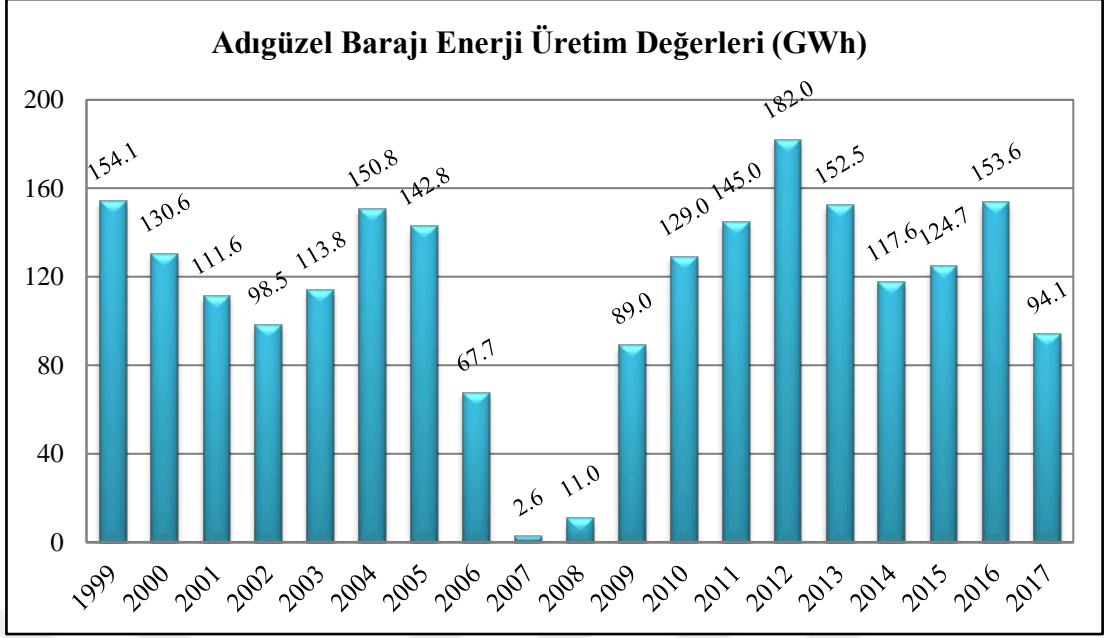
Tablo 4.1 (devam): Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali karakteristik özellikleri

Cebri Boru	
Cebri Boru Adedi	: 2
Cebri Boru Çapı (m)	: 2,40 – 3,70
Cebri Boru Uzunluğu (m)	: 503,00
Cebri Boru Et Kalınlığı (mm)	: 22 - 45
Hidroelektrik Santrali	
Türbin Tipi	: Francis
Ünite Adedi	: 2
Minimum Net Düşü (m)	: 79,65
Maksimum Net Düşü (m)	: 135,60
Proje Debisi (m ³ /s)	: 64 (2 x 32)
Kurulu Güç (MW)	: 62 (2 x 31)
Yıllık Enerji Üretimi (GWh)	: 280

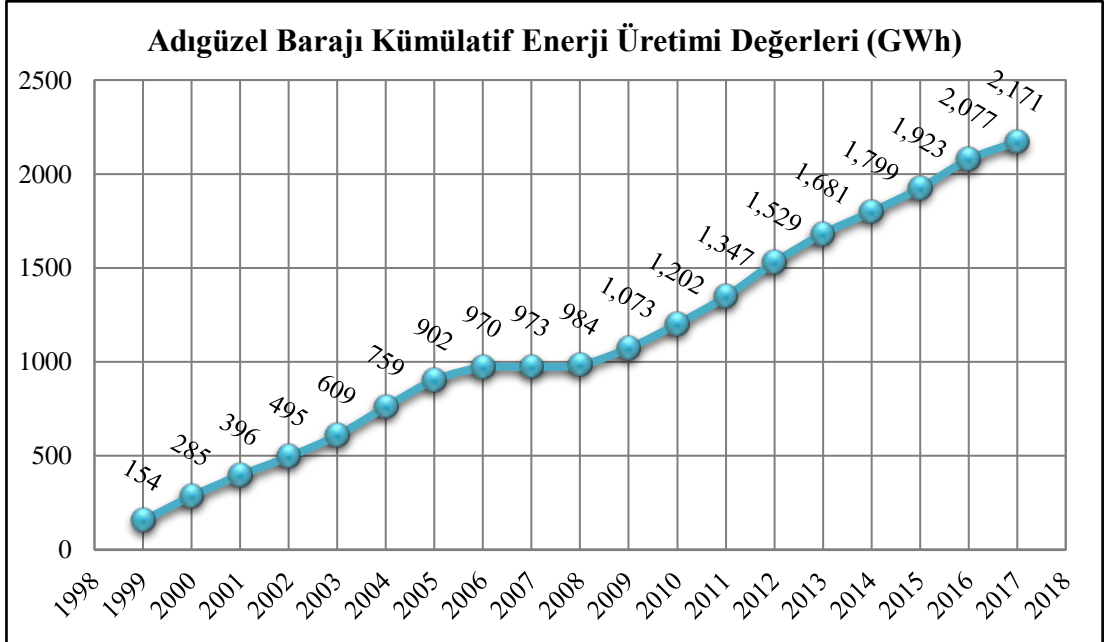
4.4 Adıgüzel Barajı Ve Hidroelektrik Santrali İşletme Dönemi

Adıgüzel Barajı inşaatına 1976 yılında başlanmış ve tesis Aralık 1989 döneminde su tutmaya başlamıştır. Adıgüzel Barajı 11 Temmuz 1990 tarihinden işletmeye açılmış ve öncelikle sulama ve taşkın koruma amacıyla işletilmeye başlanmıştır. Daha sonra 1996 yılında toplam 62 MW (2 x 31) gücündeki türbinlerinin devreye alınması ile birlikte Adıgüzel Hidroelektrik Santrali EÜAŞ tarafından enerji üretimi amacıyla da işletilmeye başlanmıştır.

Adıgüzel Barajı ve HES 2016 yılına kadar EÜAŞ tarafından işletilmiş ve 10 Mart 2016 tarihinden özelleştirilmesine karar verilmiştir. Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından yapılan ihale kapsamında 28 Nisan 2016 tarihinden Bereket Enerji Üretim A.Ş. firmasına devredilmiştir. Adıgüzel Barajı ve HES'in 1999 ile 2017 yılları arasındaki enerji üretimi değerleri Şekil 4.12'de ve kümülatif enerji üretim değerleri de Şekil 4.13'te verilmiştir (Adıgüzel Barajı ve HES [online]).



Şekil 4.12: Adıgüzel Barajı işletme dönemi yıllık enerji üretim değerleri



Şekil 4.13: Adıgüzel Barajı kümülatif enerji üretim değerleri

Adıgüzel Barajı Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'den anlaşılacağı üzere 19 yıldır enerji üretimi yapmaktadır. Bu periyotta yıllık ortalama 114,26 GWh enerji üretimi yaparak 19 yıllık işletme dönemi boyunca toplam 2171 GWh enerji üretimi yapmıştır.

4.5 Cindere Barajı Ve Hidroelektrik Santrali

Devlet Su İşleri 21. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin karakteristik özellikler Tablo 4.2' de sunulmuştur.

Tablo 4.2: Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali karakteristik özellikleri

Cindere Barajı	
1/25.000'lik Harita Adları	: Uşak L22-d4
UTM 6° Koordinatları	: 678 598 D, 4 220 936 K
İli / İlçesi	: Denizli / Güney
Havza Adı	: Büyük Menderes Havzası (07)
DSİ Bölgesi	: 21.Bölge
Akarsu Adı	: Büyük Menderes Nehri
Amacı	: Sulama + Enerji
Hidroloji	
Yağış alanı (km ²)	: 9.350
Yıllık Ortalama Akış (hm ²)	: 839
Yıllık Sulama Alanı (ha)	: 78.060
Baraj Gövdesi	
Gövde Tipi	: Silindirle Sıkıştırılmış Katı Dolgu
Gövde Hacmi (m ³)	: 1.500.000
Talveg Kotu (m)	: 200,00
Kret Kotu (m)	: 272,00
Gövdenin Talvegden Yüksekliği (m)	: 72,00
Maksimum Su Kotu (m)	: 267,70
Maksimum İşletme Kotu (m)	: 267,50
Minimum İşletme Kotu (m)	: 242,50
Kuyruk Suyu Kotu (m)	: 214,30– 215,73
Maksimum İşlet. Kotunda Göl Hacmi (hm ³)	: 84,27
Maksimum İşlet. Kotunda Göl Alanı (km ²)	: 2,82
Baraj Aktif Hacmi (hm ³)	: 78,65

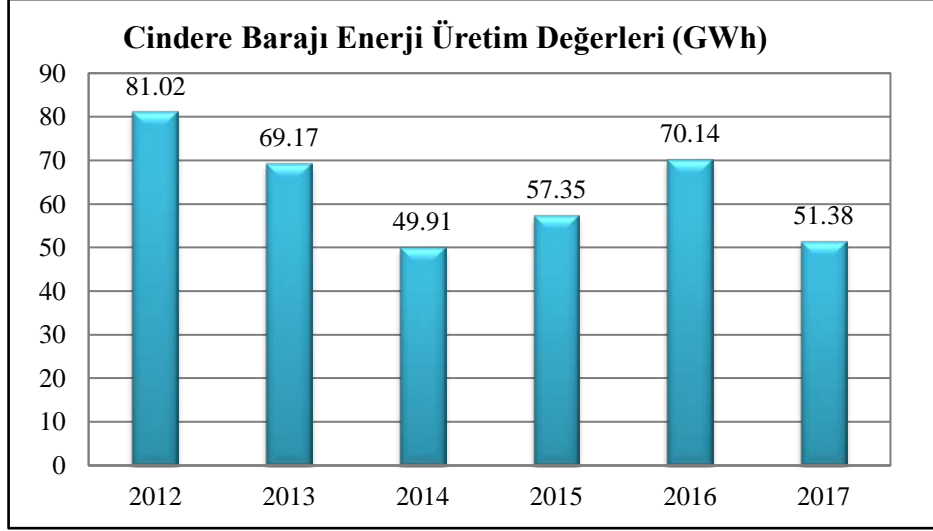
Tablo 4.2 (devam): Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali karakteristik özellikleri

Cebri Boru	
Cebri Boru Adedi	: 3
Cebri Boru Çapı (m)	: 4,00
Cebri Boru Uzunluğu (m)	: 121,00
Cebri Boru Et Kalınlığı (mm)	: 12 - 30
Hidroelektrik Santrali	
Türbin Tipi	: Francis
Ünite Adedi	: 3
Minimum Net Düşü (m)	: 24,35
Maksimum Net Düşü (m)	: 53,15
Proje Debisi (m ³ /s)	: 70,20 (3 x 23,4)
Kurulu Güç (MW)	: 29,31 (3 x 9,77)
Yıllık Enerji Üretimi (GWh)	: 88

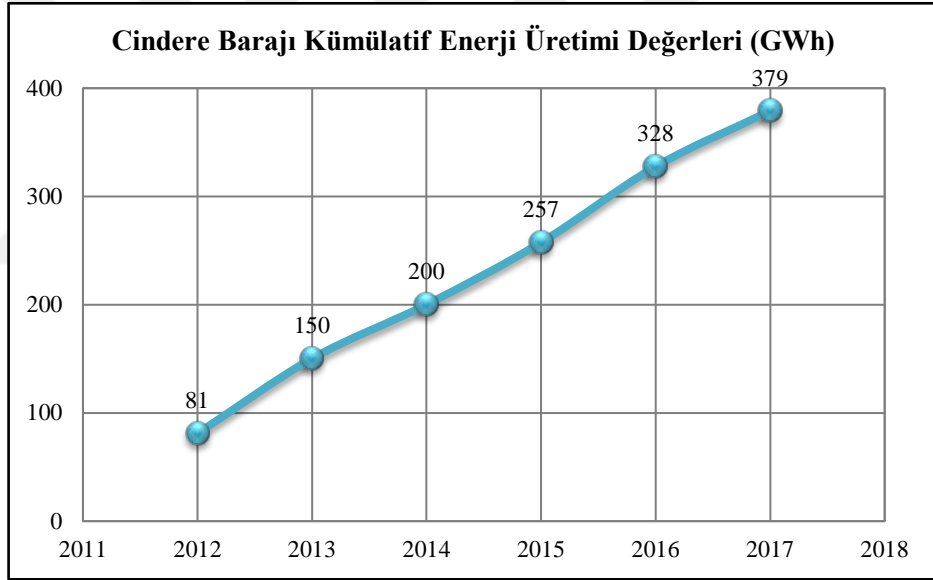
4.6 Cindere Barajı Ve Hidroelektrik Santrali İşletme Dönemi

Devlet Su İşleri tarafından enerji üretimi ve sulama amaçlı planlanan Cindere Barajı 1994-2011 yılları arasında inşa edilmiştir. Cindere Barajı'nda 2012 yılından itibaren enerji üretimine başlanmıştır. Tesis günümüzde Entek Enerji Teknolojileri Ticaret Sanayi Ltd. Şti. firması tarafından işletilmektedir (Cindere Barajı ve HES [online]).

Cindere Barajı' nın işletmede olduğu 2012-2017 yılları aralığındaki enerji üretim değerleri Şekil 4.14'te ve kümülatif enerji üretim değerleri de Şekil 4.15'de sunulmuştur.



Şekil 4.14: Cindere Barajı işletme dönemi yıllık enerji üretim değerleri



Şekil 4.15: Adıgüzel Barajı kümülatif enerji üretim değerleri

Cindere Barajı Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'den anlaşılacağı üzere 6 yıldır enerji üretimi yapmaktadır. Bu periyotta yıllık ortalama 63,16 GWh enerji üretimi yaparak 6 yıllık işletme dönemi boyunca toplam 379 GWh enerji üretimi yapmıştır.

5. YÖNTEM VE METODOLOJİ

5.1 Ardışık Akım Öteleme Yöntemi İle Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesinde Kullanılacak Veriler

Hazne işletme kural eğrilerinin geliştirilmesi için ardışık akım öteleme yönteminde hidrolojik verilerin yanı sıra kullanılacak olan başlıca veriler haznenin kot-alan-hacim değerleri, kuyruk suyu debi-seviye değerleri ve türbin verim eğrisi denklemdir. İşletme kural eğrisinin geliştirilmesinde kullanılacak veriler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

5.1.1 Hazne Kot-Alan-Hacim Değerleri

Bir haznenin kot-alan-hacim grafiği, bu haznedeki su seviyesine bağlı olarak hazne gölalanı ve hacmindeki değişimleri göstermektedir. Arazi topografyası haznenin depolama kapasitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Bu nedenle haznelerin arazi topografyasına göre kot-alan-hacim grafiği değişmektedir. Hazne işletme çalışmasında kullanılan en önemli hazne karakteristiklerinden biri de kot-alan-hacim grafiği ve verileridir.

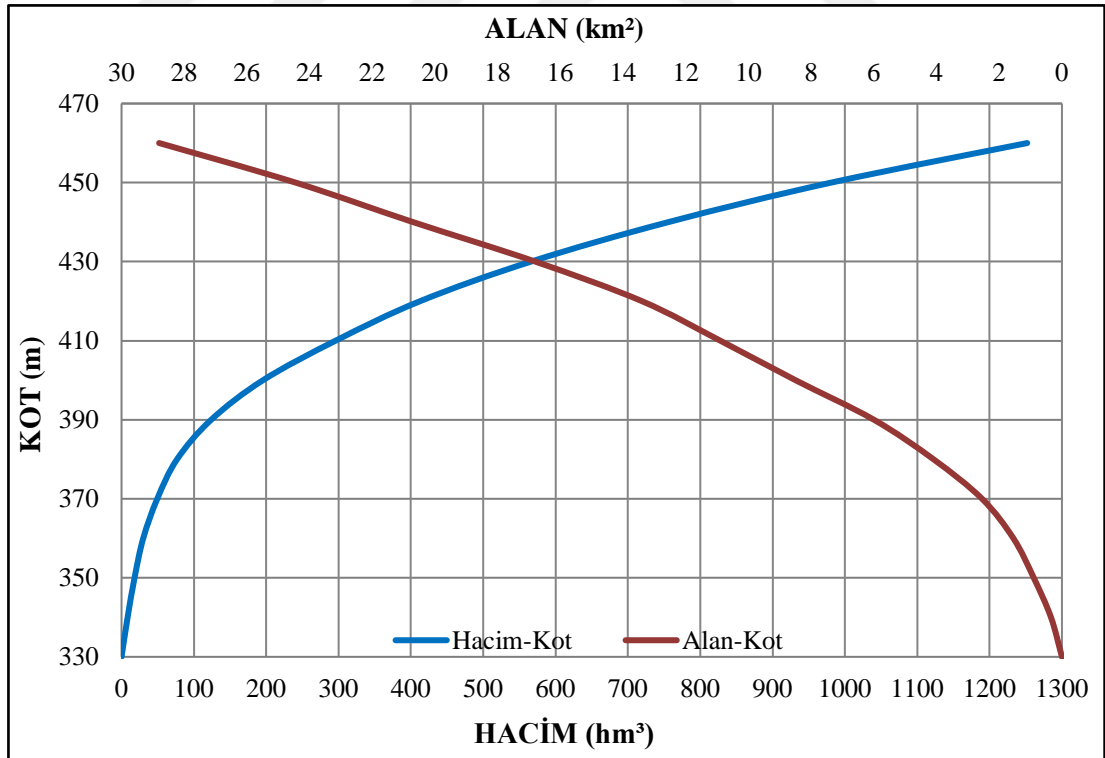
5.1.1.1 Adıgüzel Barajı Kot-Alan-Hacim Değerleri

Adıgüzel Barajı detaylı kot-alan-hacim değerleri DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Hazne işletme eniyilemesi esnasında, mevcut kot-alan-hacim değerleri kullanılarak enterpolasyon yöntemi ile hazne hacmindeki değişikliklere karşılık gelen su seviyeleri ve gölalanı değişiklikleri tespit edilmiştir.

Adıgüzel Barajı kot-alan-hacim değerleri özet olarak Tablo 5.1'de sunulmuştur. Bu değerler aracılığı ile oluşturulan Adıgüzel Barajı kot-alan-hacim grafiği de ayrıca Şekil 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1: Adıgüzel Barajı kot-alan-hacim değerleri

Kot (m)	Alan (km ²)	Hacim (hm ³)
330	0,00	0,00
340	0,35	8,40
350	0,90	18,00
360	1,55	30,00
370	2,55	49,43
380	4,10	76,80
390	6,00	124,00
400	8,50	195,60
410	10,90	296,00
420	13,40	412,80
430	16,80	566,00
440	20,70	756,00
450	24,45	981,20
460	28,80	1.252,00



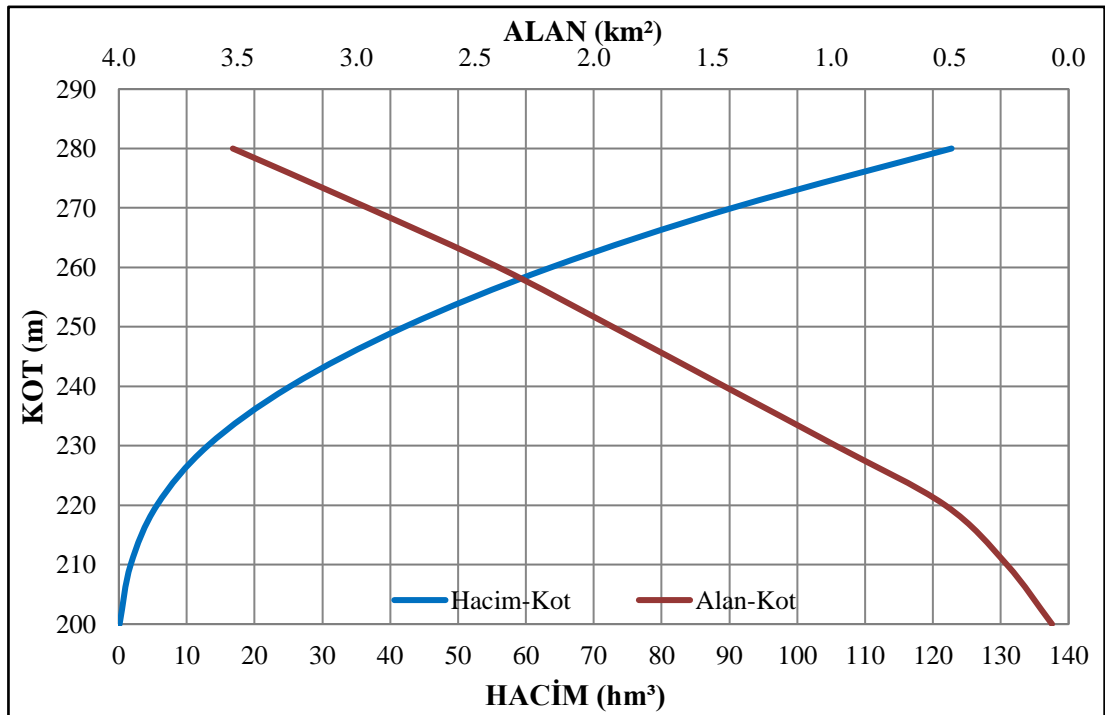
Şekil 5.1: Adıgüzel Barajı kot-alan-hacim eğrisi

5.1.1.2 Cindere Barajı Kot-Alan-Hacim Değerleri

Cindere Barajı detaylı kot-alan-hacim değerleri DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Hazne işletme eniyilemesinde, mevcut kot-alan-hacim değerleri kullanılarak enterpolasyon yöntemi ile hazne hacmindeki değişikliklere karşılık gelen su seviyeleri ve göl alanı değişiklikleri tespit edilmiştir. Cindere Barajı kot-alan-hacim değerleri özet olarak Tablo 5.2'de sunulmuştur. Bu değerler aracılığı ile oluşturulan kot-alan-hacim grafiği de Şekil 5.2'de sunulmuştur.

Tablo 5.2: Cindere Barajı kot-alan-hacim değerleri

Kot (m)	Alan (km ²)	Hacim (hm ³)
200	0,07	0,11
210	0,26	1,74
220	0,52	5,62
230	0,98	13,11
240	1,45	25,27
250	1,92	42,12
260	2,40	63,69
270	2,95	90,42
280	3,52	122,75



Şekil 5.2: Cindere Barajı kot-alan-hacim eğrisi

5.1.2 Kuyruk Suyu Kanalı Su Seviyesi Değişimi Hesaplamaları

Hidroelektrik santrallerin enerji üretimini etkileyen en önemli değişkenlerden biri de net düşüdüdür. Bir hidroelektrik santralin düşüsü haznedeki su seviyesi ile kuyruk suyu kanalındaki su seviyesinin farkının bulunması suretiyle elde edilmektedir. Bu nedenle kuyruk suyu kanalındaki su seviyesi enerji üretimini doğrudan etkilemektedir. Hazne işletme eniyilemesinde net düşünün daha doğru ve hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için türbinlenen debiye göre kuyruk suyu kanalındaki oluşan seviye ile hesaplanan net düşü dikkate alınmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan sıralı hazne işletme eniyilemesinde her iki barajın kuyruk suyu kanalı teknik özellikleri incelenerek kuyruk suyu kanalı modelleri oluşturulmuş ve yapılan çalışma sonucu kuyruk suyu kanalı anahtar eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu anahtar eğrileri sayesinde hazne işletme kural eğrilerinin oluşturulması esnasında kuyruk suyu seviyesindeki oluşan kotlar dikkate alınarak net düşü ve enerji üretimleri hesaplanmıştır.

5.1.2.1 Adıgüzel Barajı Kuyruk Suyu Kanalı Anahtar Eğrisi

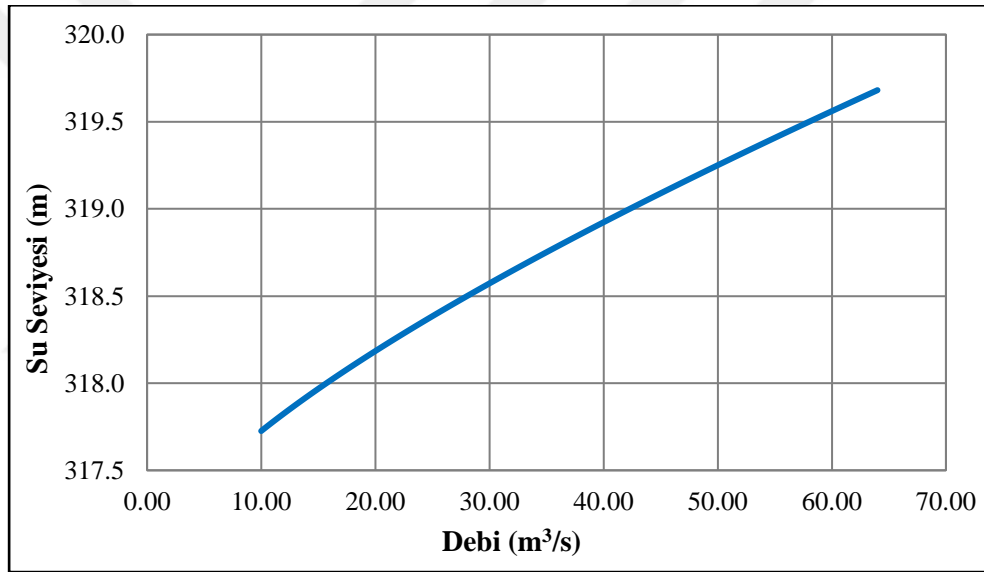
Bir akarsuyun belirli bir kesitinde debi seviye arasındaki bağlantıyı gösteren eğriye anahtar eğrisi denmektedir. Santralin farklı debilerde çalışması durumunda kuyruk suyu kanalının su seviyesinde oluşacak değişiklikleri debi seviye arasında bağlantı kurarak gösteren eğriye kuyruk suyu anahtar eğrisi denmektedir.

Adıgüzel HES kuyruk suyu kanalı teknik özellikleri bire bir kullanılarak oluşturulan modellemede minimum türbin debisi ile proje debisi arasındaki debi değişimlerinde kuyruk suyu kanalında meydana gelen seviye değişimleri tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda Adıgüzel HES kuyruk suyu kanalına ait debi-seviye bilgileri Tablo 5.3'te ve kuyruk suyu kanalı anahtar eğrisi de Şekil 5.3'de sunulmuştur.

Tablo 5.3: Adıgüzel HES kuyruk suyu kanalı debi-seviye değerleri

Debi (m ³ /s)	Seviye (m)	Debi (m ³ /s)	Seviye (m)
10,30	317,74	28,00	318,50
12,00	317,83	32,00	318,64
14,00	317,92	40,00	318,92
16,00	318,01	48,00	319,19
20,00	318,18	56,00	319,44
24,00	318,35	64,00	319,68

Adıgüzel Hidroelektrik santrali yaklaşık 10 m³/s ile 64 m³/s aralığında çalışmaktadır. Bu debi aralığında çalışması durumunda kuyruk suyu kanalında oluşacak su seviyeleri Tablo 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: Adıgüzel HES kuyruk suyu anahtar eğrisi

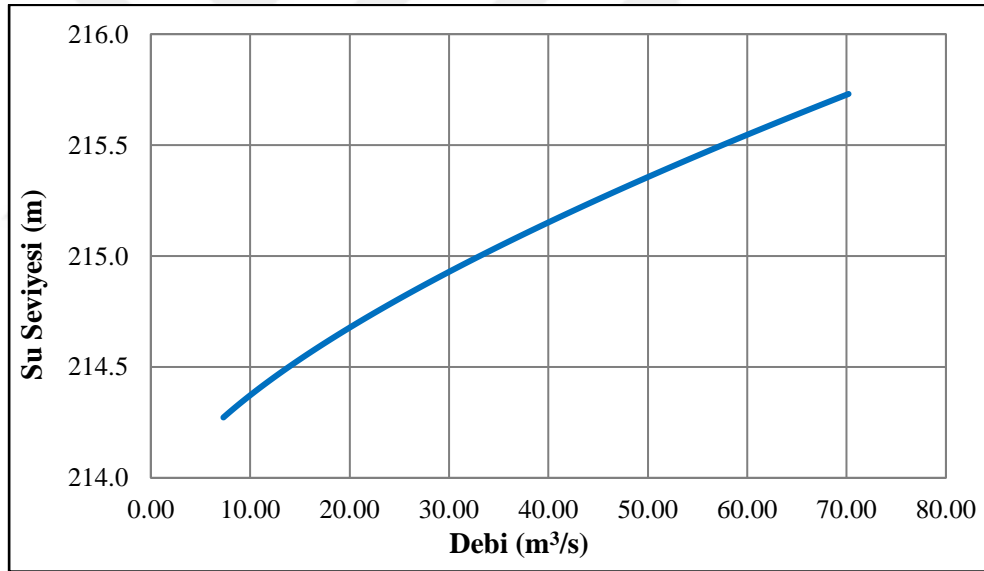
5.1.2.2 Cindere Barajı Kuyruk Suyu Kanalı Anahtar Eğrisi

Cindere HES kuyruk suyu kanalı teknik özellikleri bire bir kullanılarak oluşturulan modellemede minimum türbin debisi ile proje debisi arasındaki debi değişimlerinde kuyruk suyu kanalında meydana gelen seviye değişimleri tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda Cindere HES kuyruk suyu kanalına ait debi-seviye bilgileri Tablo 5.4'te ve kuyruk suyu kanalı anahtar eğrisi de Şekil 5.4'te sunulmuştur.

Tablo 5.4: Cindere HES kuyruk suyu kanalı debi-seviye değerleri

Debi (m ³ /s)	Seviye (m)	Debi (m ³ /s)	Seviye (m)
7,50	214,28	36,00	215,06
8,00	214,30	42,00	215,19
12,00	214,44	48,00	215,32
16,00	214,56	54,00	215,43
20,00	214,68	60,00	215,55
24,00	214,78	66,00	215,66
30,00	214,93	70,20	215,73

Cindere Hidroelektrik santrali yaklaşık 7,50 m³/s ile 70,20 m³/s aralığında çalışmaktadır. Bu debi aralığında çalışması durumunda kuyruk suyu kanalında oluşacak su seviyeleri Tablo 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4: Cindere HES kuyruk suyu anahtar eğrisi

5.1.3 Türbin Verimi

Enerji üretimini etkileyen önemli değişkenlerden biri de türbin verimidir. Türbin verimi, türbinlenen debiye ve türbin tipine göre değişmektedir. Haznede gerekli düşüyü ve debi sağladıktan sonra işletme esnasında türbinlenecek debinin miktarı da enerji üretimi doğrudan etkilemektedir. Gerekli düşü ve debi şartları

sağlandığında türbin verim eğrisi dikkate alınarak yapılan enerji üretiminde türbin veriminden kaynaklı kayıpların önüne geçilmiş olacaktır.

Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı hidroelektrik santrallerinde kullanılan türbinlerin teknik bilgileri DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Her iki projede de Francis tipi türbin kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan hazne işletme eniyileme çalışmasında her iki santralin türbinlerine ait verim eğrileri aracılığı ile türbin verim katsayısı fonksiyonları oluşturulmuştur.

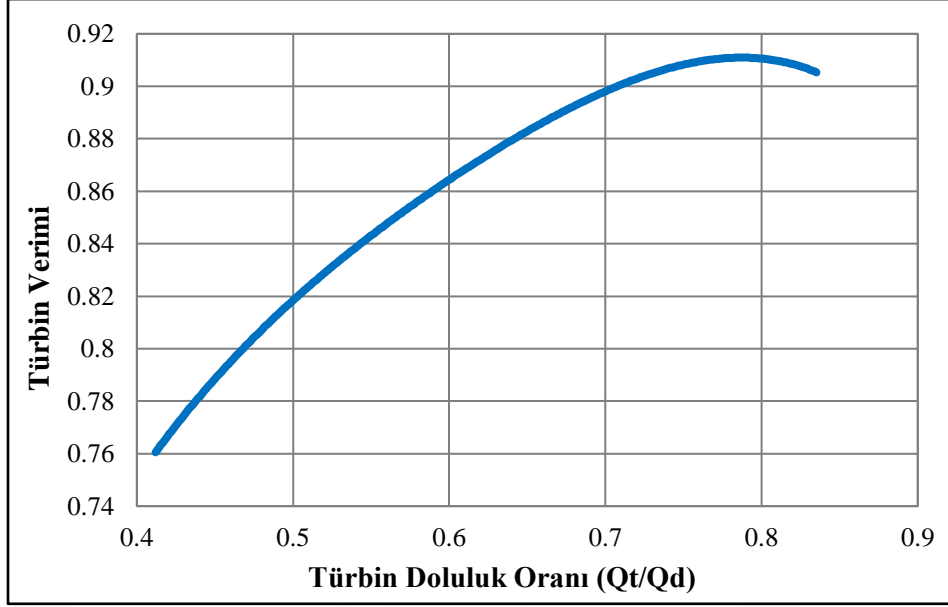
Hazne işletme kural eğrilerinin elde edilmesi esnasında, aylık türbinlenen debinin türbin tasarım debisine oranı hesaplanmıştır. Aylık türbinlenen debiye göre bulunan bu oran türbin verim katsayısı fonksiyonuna girdi olarak kullanılmış ve fonksiyonun çıktısı olarak türbin verim katsayısı elde edilmiştir. Aylık olarak hesaplanan türbin verim katsayıları aylık enerji üretimi hesaplamasında kullanılmıştır.

5.1.3.1 Adıgüzel Barajı ve HES Türbin Verim Eğrisi

Hidroelektrik santral işletmesinde türbin verimi oldukça önemli bir etken olmakla birlikte her proje için de farklılık göstermektedir. Her bir proje için yapılan özgün türbin tasarımları sonucu ortaya çıkan türbin verim eğrileri ile türbinlerin doluluk oranına göre mekanik verim katsayılarına ulaşılmaktadır.

Bu tez kapsamında da yapılan eniyileme çalışmalarında türbin verimi mümkün olan en hassas biçimde belirlenerek eniyileme hesaplarına dahil edilmiştir. Adıgüzel Barajı İşletme kural eğrisinin elde edilmesinde türbin verim katsayısı aylık türbinlenen debiye göre belirlenmektedir.

Adıgüzel Barajı ve HES projesine ait DSİ teknik dokümanlarından elde edilen veriler ile türbin verim eğrisi grafiği çıkartılmıştır. Hazne işletme eniyileme çalışmalarında Şekil 5.5'de verilen türbin verim eğrisi denklemi kullanılmıştır.



Şekil 5.5: Adıgüzel HES türbin verim eğrisi

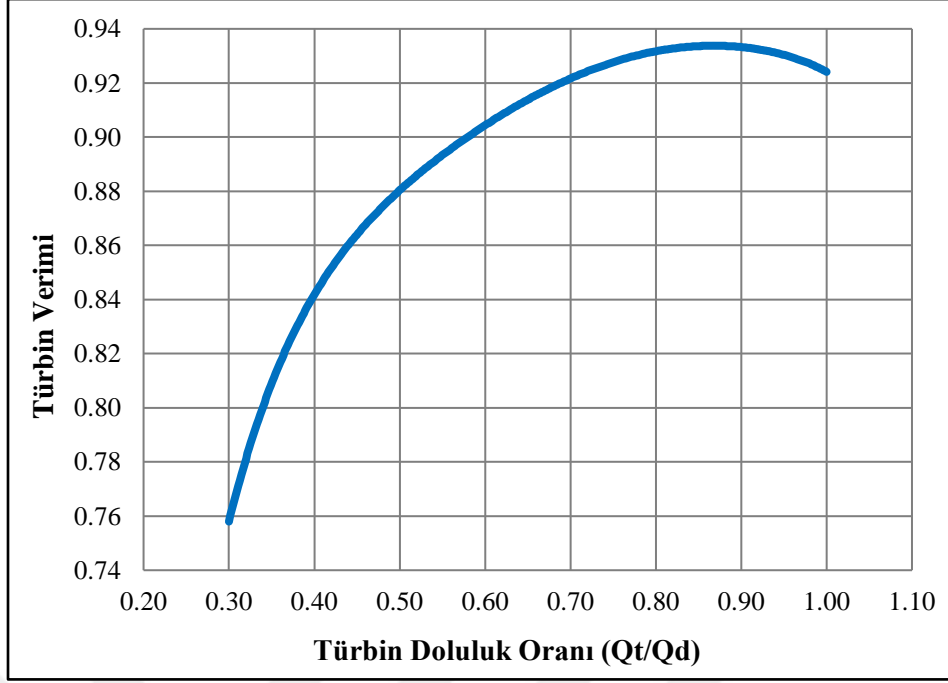
Şekil 5.5' den de anlaşılacağı üzere türbin doluluk oranı 0,5'ler de iken verim 0,82 seviyelerinde, türbin doluluk oranı 0,8'e yaklaştığı durumdaki üretim modelinde verim katsayısı 0,92 seviyelerine ulaşmaktadır ki bu aynı miktarda su ile yaklaşık %12 daha fazla elektrik üretebilmek anlamına gelmektedir.

5.1.3.2 Cindere Barajı ve HES Türbin Verim Eğrisi

Hidroelektrik santral işletmesinde türbin verimi oldukça önemli bir etken olmakla birlikte her proje için de farklılık göstermektedir. Her bir proje için yapılan özgün türbin tasarımları sonucu ortaya çıkan türbin verim eğrileri ile türbinlerin doluluk oranına göre mekanik verim katsayılarına ulaşılmaktadır.

Bu tez kapsamında da yapılan eniyileme çalışmalarında türbin verimi mümkün olan en hassas biçimde belirlenerek eniyileme hesaplarına dahil edilmiştir. Cindere Barajı İşletme kural eğrisinin elde edilmesinde türbin verim katsayısı aylık türbinlenen debiye göre belirlenmektedir.

Cindere Barajı ve HES projesine ait DSİ teknik dokümanları aracılığı ile ulaşılan veriler ile türbin verim eğrisi grafiği çıkartılmıştır. Hazne işletme eniyileme çalışmalarında Şekil 5.6'da verilen türbin verim eğrisi denklemi kullanılmıştır.



Şekil 5.6: Cindere HES türbin verim eğrisi

Cindere HES türbin verim eğrisinin sunulduğu Şekil 5.6' dan da anlaşılacağı üzere türbin doluluk oranı 0,5'lerde iken verim 0,88 seviyelerinde, türbin doluluk oranı 0,85'e yaklaştığı durumdaki üretim modelinde verim katsayısı 0,94 seviyelerine ulaşmaktadır. Bu durum aynı miktarda su ile yaklaşık %6 daha fazla elektrik üretebilmek anlamına gelmektedir.

5.2 Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesinde Kullanılacak Karakteristiklerin Açıklamaları

Tasarım Debisi (Q_p): Hidroelektrik santrallerin kurulu gücünün hesaplanmasında esas alınan debi olmakla birlikte bir hidroelektrik santralin anlık olarak türbinleyebileceği maksimum debidir. Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santralinin tasarım debisi $64,00 \text{ m}^3/\text{s}$, Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santralinin tasarım debisi $70,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ' dir.

Maksimum Türbin Debisi (Q_a): Türbin tasarım debisi olan maksimum türbin debisi, türbinin anlık olarak türbinleyebileceği debiyi ifade etmektedir.

Minimum Türbin Debisi (Q_{min}): Minimum türbin debisi türbin tipine göre belirlenmektedir. Adıgüzel HES ve Cindere HES projelerinin her birinde Francis tipi türbin kullanılmaktadır. Francis tipi türbinlerde minimum türbin debisi, türbin tasarım debisinin %32 mertebelerine denk gelmektedir.

Optimum Türbin Debisi (Q_{opt}): Türbinlenen debinin miktarı türbin verimi hesaplanırken türbin verim katsayısını doğrudan etkilemektedir. Türbin verim eğrisinden de görüldüğü gibi maksimum debide türbinlemek de düşük debilerde türbinlemek de türbin verim katsayısını düşürmektedir. Bu nedenle türbin veriminden en iyi şekilde faydalanabilmek için karar verilen debi optimum türbin debisidir.

5.3 Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesinde Optimum Türbin Debinin Belirlenmesi

İşletme kural eğrilerinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalarda, enerji üretiminde türbin veriminin etkisi çoğunlukla yeteri kadar gerçekçi olarak dikkate alınmamaktadır. Türbinlenen debinin miktarına bakılmaksızın türbin verim katsayısı sabit alınarak verim eğrisinin enerji üretimi üzerindeki etkisi göz ardı edilmiştir. Ancak bu tez kapsamında yapılan işletme kural eğrilerinin geliştirilmesi çalışmalarında her iki tesisin de türbin verim denklemleri çıkartılmış ve hazne işletmesi esnasında türbinlerin yüksek verim ile çalışabilmesi amaçlanmıştır.

Enerji üretiminde türbin verimini mümkün olan en iyi şekilde kullanmak için optimum türbin debisi belirlenmektedir. Optimum türbin debilerinin belirlenmesi için her santralin türbin sayısı ve türbin tasarım kriterlerine göre Bölüm 5.3.1 ve Bölüm 5.3.2’de belirtilen kısıtlar çerçevesinde modeller oluşturulmuştur.

Hazne işletme kural eğrilerinin geliştirilmesi için yapılan sıralı hazne işletme eniyileme çalışmasında her ay türbinlenmesine karar verilen aylık hacim, türbinlere türbin verimliliğini dikkate alan bu modellere göre dağıtılmıştır.

5.3.1 Adıgüzel HES İçin Optimum Türbin Debisinin Belirlenmesi

Adıgüzel Barajı ve HES işletmesinde optimum türbin debisinin belirlenmesi için geliştirilen modelleme aşağıdaki kısıtlar çerçevesinde oluşturulmuştur.

1. Eğer türbinlenecek debi, Adıgüzel HES minimum türbin debisinden küçük ise; türbinlenecek debi yalnızca tek türbinle ve $24 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak en yüksek türbin verim katsayısı elde edilerek enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Böylece enerji üretimi tüm gün boyunca değil de günün bir kısmında belirli bir süre boyunca gerçekleştirilmektedir. Sulama ihtiyacı karşılanırken eş zamanlı olarak enerji üretimi de yüksek bir verim ile yapılmaktadır.
2. Eğer türbinlenecek debi, minimum türbin debisi ile maksimum türbin debisi aralığında ise; yalnızca tek türbin ile enerji üretimi gerçekleştirilmektedir.
3. Eğer türbinlenecek debi, maksimum türbin debisinden büyük ve tasarım debisinden küçük ise; türbinlenecek debi her iki türbine eşit oranda gönderilerek her iki türbinde de enerji üretilmektedir. Böylelikle maksimum ve minimum türbin debisi kısıtları içerisinde kalınarak türbin veriminin 0,82 olması sağlanmaktadır.

Bu kısıtlar çerçevesinde oluşturulan model ile enerji üretimi esnasında türbin verim katsayısı en büyüklenmeye çalışılmaktadır.

5.3.2 Cindere HES İçin Optimum Türbin Debisinin Belirlenmesi

Cindere Barajı ve HES işletmesinde optimum türbin debisinin belirlenmesi için geliştirilen modelleme aşağıdaki kısıtlar çerçevesinde oluşturulmuştur.

1. Eğer türbinlenecek debi, Cindere HES minimum türbin debisinden küçük ise; türbinlenecek debi yalnızca tek türbinle ve $10,00 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak türbinlenmektedir. Böylece sulama dönemlerinde aylık minimum sulama ihtiyacı karşılanırken enerji üretimi de mümkün olan en yüksek verim katsayısı elde edilerek gerçekleştirilmektedir.

2. Eğer türbinlenecek debi, minimum türbin debisi ile maksimum tek türbin debisi aralığında ise; enerji üretimi yalnızca tek türbinde gerçekleştirilmektedir.
3. Eğer türbinlenecek debi, maksimum tek türbin debisi ile maksimum iki türbin debisi aralığında ise; türbinlenecek debi iki türbine eşit oranda gönderilerek iki türbinde de enerji üretimi yapılmaktadır. Böylece maksimum ve minimum türbin debisi kısıtları içerisinde kalınarak türbin verim katsayısının da en az 0,88 olması sağlanır.
4. Eğer türbinlenecek debi, maksimum iki türbin debisi ile tasarım debisi aralığında ise; türbinlenecek debi üç türbine eşit oranda paylaştırılarak üç türbinde de enerji üretilmektedir. Böylece maksimum ve minimum türbin debisi kısıtları içerisinde kalınarak türbin verim katsayısının da en az 0,92 olması sağlanır.

Cindere HES için kurgulanan bu türbin debi paylaşım modeli ile farklı durumlarda optimum türbin debisi belirlenmektedir. Kurulan bu model ile enerji üretimindeki türbin verim katsayısı en büyüklenmeye çalışılmaktadır.

Sıralı haznelerin işletme kural eğrilerinin geliştirilmesinde türbin verim katsayısının en büyüklenmesi, hazne işletme eniyilemesinin gerçek üretimlere daha yakın sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Bu nedenle hazne işletme eniyilemelerinde sabit türbin verim katsayısı kullanılması yerine türbin verim eğrilerinden faydalanılarak optimum türbin debisinin belirlenmesi gerekmektedir.

5.4 Guguk Kuşu Arama (Cuckoo Search) Algoritması İle Eniyileme

Guguk Kuşu Arama Algoritması Xin She Yang ve Suash Deb tarafından doğadan esinlenerek geliştirilmiş üst sezgisel (meta-sezgisel) bir algoritmadır. Yeni nesil bir algoritma olan Guguk Kuşu Arama Algoritması, guguk kuşlarının çoğalma davranışlarından esinlenerek kurgulanmıştır. Bu algoritmanın ilham kaynağı bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka parazitliği ve Lévy uçuşu (Lévy flights) olarak adlandırılan rastgele uçuşlarıdır (Yang ve Deb,2009).

5.4.1 Guguk Kuşlarının Çoğalma Davranışı

Guguk kuşları sadece güzel ötüşleri ile değil aynı zamanda saldırgan çoğalma stratejileri ile de ilgi çeken kuşlardır. Türlerin büyük çoğunluğu kuluçka asalağı olup, yumurtalarını yabancı kuşların yuvalarına bırakırlar.

Guguk kuşlarının yumurtladıkları yuvadaki yuva sahibi olan yabancı kuşun yumurtalarından bir tanesini yuvadan atarak kendi yavrularının yumurtadan çıkma olasılığı arttırmaktadırlar. Diğer taraftan yuvanın sahibi de guguk kuşunun yumurtasını tanırrsa yumurtayı atmakta veya o yuvayı terk etme davranışını göstermektedir. Fakat yuva sahibi yumurtaları tanıyamazsa guguk kuşunun yumurtalarına da kendi yumurtaları gibi davranarak kuluçka parazitliği durumu ortaya çıkmaktadır. (Yang ve Deb,2009; Yang, 2014).

5.4.2 Lévy Uçuşu

Bilindiği gibi rasgele arama, meta-sezgisel algoritmalarda çok önemlidir. Lévy uçuşu, bir dizi ardışık rasgele adımlar içeren rasgele bir süreçtir. Matematiksel açıdan, Lévy uçuşu ile rastgele sayı üretmek için iki ardışık adım gerçekleştirilmelidir. Bunlardan birincisi adımların oluşturulması, ikincisi de rastgele bir yön seçilmesidir.

Adım büyüklüğünü belirlemek için en verimli yöntemlerden biri Mantegna algoritmasını kullanmaktır. Adım büyüklüğü pozitif veya negatif olabilir. Mantegna algoritmasına göre adım uzunluğu (L), eşitlik (5.1)'deki şekilde hesaplanır.

$$L = \frac{u}{|v|^{1/\beta}} \quad (5.1)$$

Bu eşitlikteki β parametresi $[1, 2]$ aralığında olup genellikle 1.5 olarak alınırken u ve v , ortalaması sıfır olan normal dağılımlı rassal değişkenlerdir ve eşitlik (5.2) 'deki gibi tanımlanırlar.

$$\mathbf{u} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_u^2), \mathbf{v} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_v^2) \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2) 'deki u ve v 'nin σ_u ve σ_v standart sapmaları eşitlik (5.3) 'de verilmiştir.

$$\sigma_u = \left\{ \frac{\Gamma(1+\beta) \sin(\pi\beta/2)}{\Gamma[(1+\beta)/2] \beta 2^{(\beta-1)/2}} \right\}^{1/\beta}, \sigma_v = 1 \quad (5.3)$$

5.4.3 Guguk Kuşu Arama Algoritması

Guguk kuşu yabancı bir yuvaya sadece bir yumurta bırakır ve yuvadaki her yumurta bir çözümü temsil etmektedir. Guguk kuşu yumurtası ise yeni bir çözümü temsil etmektedir. Buradaki amaç yeni ve daha iyi çözümleri (guguk kuşu yumurtalarını) yuvadaki iyi olmayan çözümlerle değiştirmektir. Algoritmanın daha iyi sonuç üretebilmesi için en basit yöntem olan her yuvanın sadece bir yumurta taşıması yaklaşımı benimsenmiştir (Yang, 2010).

Sezgisel eniyileme algoritmaları en iyi çözüme yaklaşırken global ve lokal arama yapmaktadırlar. Algoritmaların varsa olası diğer çözümleri bulabilmeleri için keşfe çıkmaları gerekmektedir (Yang, 2010). Bu nedenle guguk kuşu algoritması rassal yürüyüş ve lokal rassal yürüyüş yaklaşımlarının bir arada dengede kullanıldığı bir algoritma olmuştur. (Yang, 2014)

Guguk Kuşu Arama Algoritmasının üç ana prensibi vardır (Yang, 2010).

1. Her guguk kuşu bir seferde sadece bir yumurtayı rastgele seçilen yabancı bir kuşun yuvasına bırakır.
2. En iyi yuvalar gelecek nesillere taşınır. Yuvaların uygunluğu probleme göre tanımlanan amaç fonksiyonları kullanılarak belirlenir.

3. Mevcut yuva sayısı sabittir ve guguk kuşu yumurtasının konak kuş tarafından fark edilmesi p_a (0,1) olasılığı ile gerçekleşir. Fark edilen bu yuvalar rastgele üretilen yeni yuvalar ile değiştirilir.

Lévy uçuşu ile yeni çözümler üretmek için (5.4) 'te verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$x_i^{(t+1)} = x_i^t + \alpha L(x_i^t - x_{best}^t) \quad (5.4)$$

Bu eşitlik aslında, gelecek durumu sadece şu andaki mevcut durumuna ve geçiş olasılığına bağlı olan Markov zinciri ile tanımlanan rastgele bir yürüyüşü ifade eder.

Denklem (5.4) 'te verilen eşitlikte $\alpha > 0$ olmak üzere adım büyüklüğünü kontrol etmek için kullanılan bir parametredir. Bu çalışmada $\alpha = 0.01$ olarak alınmıştır.

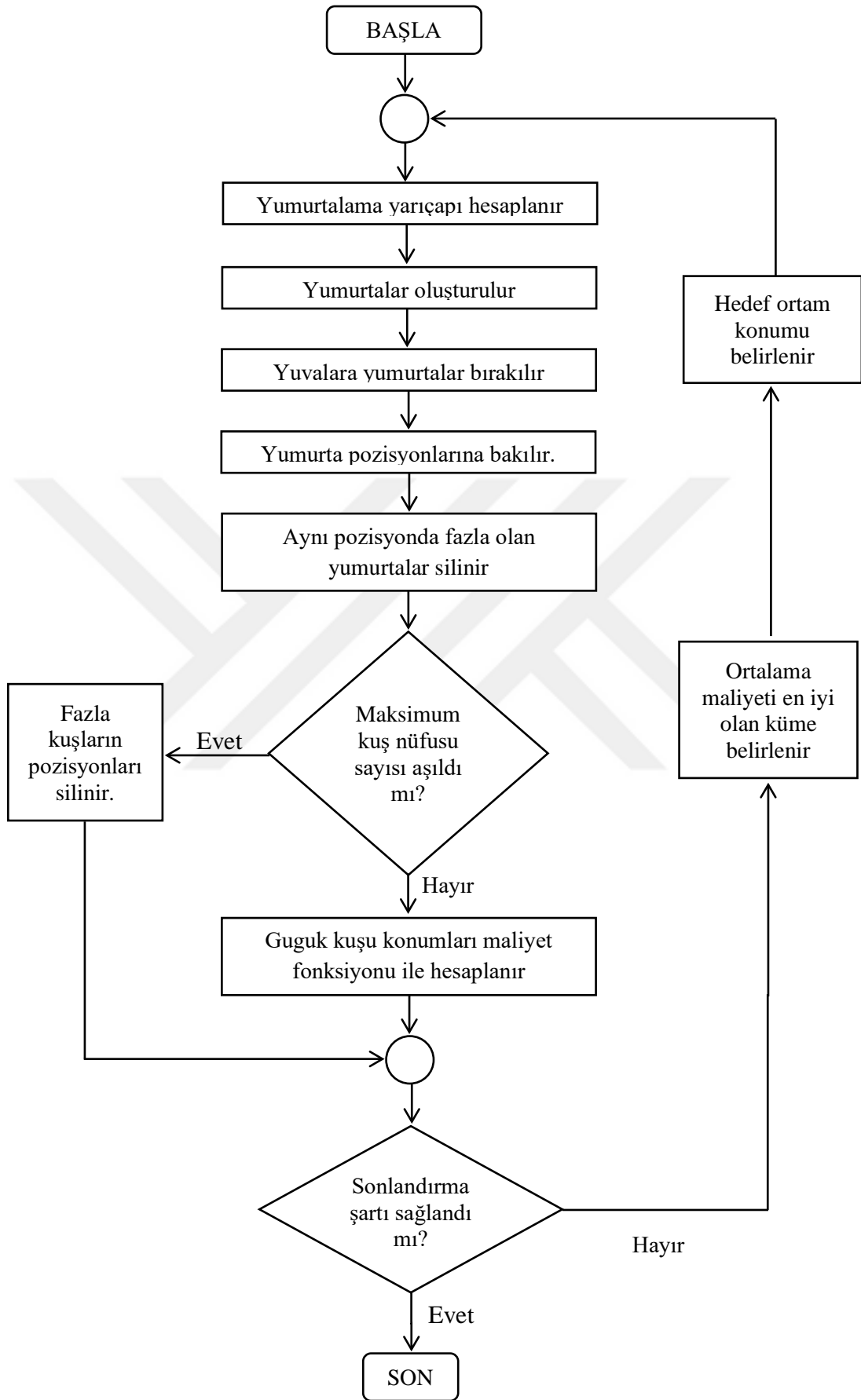
Diğer sezgisel algoritmalarda da benzer bir rastgele yürüyüş olmasına rağmen, guguk kuşu algoritmasında bu yürüyüş uzun adımlar sağlayan Lévy uçuşu ile gerçekleştirildiği için arama uzayını keşfetmede daha etkilidir (Yang, 2010).

Lévy uçuşu sayesinde yeni çözümlerin bazıları en iyi çözüme yakın yerlerde üretilir ve bu durum yerel aramayı hızlandırır. Aynı zamanda yeni çözümlerin büyük bir kısmı ise en iyi çözümden yeterince uzaktaki yerlerde üretilir. Böylece yerel minimum sorunu aşılmış olmaktadır.

Guguk Kuşu Arama Algoritmasının akış şeması Şekil 5.7'de verilmiştir. Bu algoritmanın sözde kodu aşağıda kısaca verilmektedir. (Demirtaş ve Zengin, 2016)

Guguk Kuşu Arama Algoritması sözde kodu:

1. İlk başlangıç ortamı oluşturulur.
2. Her kuşa rastgele sayıda yumurtalar tahsis edilir.
3. Her kuş için maksimum yumurtlama yarıçapı belirlenir.
4. Belirlenen yumurtlama yarıçapı alanı içine yumurta bırakılır.
5. Ev sahibi kuşlar tarafından fark edilen yumurtalar yok edilir.
6. Cıvcıvlerin yumurtadan çıkmasına ve büyümesine izin verilir.
7. Büyüyen her kuşun yaşam alanı değerlendirilir.
8. Alan içinde yaşayabilecek kuş sayısı sınırlandırılır ve istenmeyen alandakiler yok edilir.
9. En iyi kuş grubu tespit edilir ve hedef yaşam alanı seçilir.
10. Yeni guguk kuşu nüfusunun hedef yaşam alanına göç etmesi sağlanır.
11. İstenilen şart sağlanmış ise optimizasyon durdurulur, sağlanmamış ise 2.adımdan devam edilir.



Şekil 5.7: Guguk kuşu arama algoritması akış şeması

5.5 Ardışık Akım Öteleme Yöntemi İle Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesi

Ardışık akım öteleme yöntemi, depolamalı sistemlerin hazne işletmesini değerlendirmek üzere süreklilik denkleminde dayanarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem, işletme dönemi boyunca her bir zaman dilimine ardışık olarak uygulanarak hazneyi hedeflenen depolama kapasitesine ulaştırmaya çalışmaktadır. Hazne giriş-çıkış verileri kullanılarak ve haznenin işletme amaçları dikkate alınarak ardışık akım öteleme yöntemi aylık, günlük veya saatlik zaman dilimlerine göre uygulanabilmektedir. Ardışık akım öteleme yöntemi daha önce bölüm 3.1 'de açıklandığı gibi aşağıda ifade edilen süreklilik denkleminde dayanmaktadır.

$$\Delta V = I - O - L \quad (5.5)$$

Bu denklemde ΔV ; haznede biriken su hacmindeki değişimi, I ; hazneye giren akım miktarını, O ; hazneden çıkan akım miktarını, L ; haznedeki buharlaşma, sızma ve benzeri nedenlerden oluşan su kayıplarını ifade etmektedir.

Sıralı haznelerin işletme eğrilerinin oluşturulması için bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalarda sıralı hazneler aylık olarak işletilmiştir. Sıralı haznelerin işletilmesi sonucunda her ayın sonundaki belirli hazne verileri bir sonraki ayın hazne başlangıç verileri olmaktadır. Aynı zamanda hazneler her ay öncelikli amaçlarını yerine getirecek şekilde (sulama suyu, içme suyu vs.) işletilerek aylık enerji üretimleri hesaplanmaktadır.

MATLAB programında yazılan kodlar ve oluşturulan fonksiyonlar ile bütün işletme dönemi boyunca sıralı hazneler bu şekilde işletilmiştir. Ardışık akım öteleme yönteminin adımları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Dönem Başı Depolama Hacmi (S_i): İşletme dönemi boyunca haznelerin her aybaşındaki sahip olduğu su hacmi miktarıdır. Her ayın sonunda depolama hacmi bir sonraki ayın başlangıç depolama hacmi olmaktadır. Sıralı haznelerin işletme çalışmasının ilk ayındaki başlangıç depolama hacimleri, tesislerin edilen üretime

başladığı tarihteki hacim değerleridir. İşletme dönemi başlangıç hacim değerleri tesislerin işletme müdürlüklerinden temin edilmiştir.

Dönem Başı Su Seviyesi (H_i): Dönem başındaki depolama hacmine karşılık gelen ve haznelerin kot-alan-hacim eğrilerinden elde edilen haznedeki su seviyesidir.

Dönem Başı Göl Alanı (A_i): Dönem başındaki hazne su seviyesine karşılık gelen ve haznelerin kot-alan-hacim eğrilerinden elde edilen haznedeki göl alanıdır.

Hazne Giriş Akımı (I_i): Tesis işletme müdürlüklerinden temin edilen işletme dönemi boyunca ölçülmüş hazne giriş akımlarıdır.

Buharlaşma Değerleri (E_i): Her ay için ortalama buharlaşma miktarlarıdır. Bölgeye ait buharlaşma verileri DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Sulama Değerleri (IR): Her dönem için sulamaya verilmesi gereken su miktarlarıdır. Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı için gerekli olan sulama değerleri Büyük Menderes Nehri Planlama Raporu'ndan alınmıştır.

Dönem Sonunda Hedeflenen Su Seviyesi (H_t): MATLAB programı aracılığı ile yapılan eniyileme analizleri sonucunda belirlenmektedir. Amaç fonksiyonunu en büyükmek için belirlenen karar değişkenidir. Dönem sonunda hedeflenen su seviyeleri sıralı haznelerin işletme eğrilerini oluşturmaktadır.

Dönem Sonunda Hedeflenen Depolama Hacmi (St): Kot-alan-hacim eğrisinden elde edilmektedir. Dönem sonunda hedeflenen su seviyesine karşılık gelen hazne hacimidir.

Dönem Sonunda Bırakılması Gereken Hacim (So_i): Hedeflenen su seviyesini korumak için dönem sonunda bırakılması gereken su hacmidir. Aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$So_i = S_i + I_i - E_i - IR - St \quad (5.6)$$

Can Suyu (S_L): Akarsu yatağında flor fauna canlılığın devam etmesi için her zaman dere yatağına bırakılması gereken su miktarıdır.

Hazneden Bırakılacak Net Hacim (S_{on_i}): Can suyunu da dikkate alarak hesaplanan dönem sonunda bırakılacak net hacimdir. Aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$S_{on_i} = S_{o_i} - S_L \quad (5.7)$$

Savaklanan Akım (S_{p_i}): Eğer hazneden bırakılacak net hacim ilgili aydaki türbinlenebilecek maksimum hacimden fazla ise aradaki fark dolusavaktan savaklanacaktır. Bu hacmi ifade etmektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{p_i} = S_{on_i} - V_{TÜRBİN_MAX} \quad (5.8)$$

Net Türbinlenen Hacim ($S_{N,i}$): Hazneden bırakılacak net hacimden savaklanan akım çıkarıldıktan sonra kalan hacimdir. Aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$S_{N,i} = S_{on_i} - S_{p_i} \quad (5.9)$$

Net Türbinlenen Debi ($Q_{N,i}$): Aylık net türbinlenen hacme karşılık gelen aylık ortalama debidir.

Ünite Debisi ($Q_{T,i}^u$): Net türbinlenen hacimin en verimli şekilde türbinlenebilmesi için, karar hesapları sonucunda belirlenen ünite debisidir. Bölüm 5.3'te detaylı olarak anlatılan kısıtlar dikkate alınarak her bir baraj için ayrı ayrı

belirlenmektedir. Amaç fonksiyonun en büyüklenmesi için kullanılan alt karar değişkenlerinden biridir. Burada n santraldeki ünite sayısıdır.

Ünite Hacmi ($S_{T,i}^n$): Ünite debisi belirlendikten sonra ilgili aydaki ünite debisine karşılık gelen hacmi ifade etmektedir. Her bir baraj ve her bir ünite için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Ünite Enerji Üretim Süresi ($t_{n,i}$): Her bir ünite için bir aydaki enerji üretim süresidir. Ünite debileri belirlenirken yapılan karar hesaplar sonucunda elde edilir. Bölüm 5.3'te detaylı olarak anlatılan kısıtlar dikkate alınarak her bir baraj için ayrı ayrı belirlenmektedir.

Türbin Verimi ($\mu_{T,i}^n$): Türbinlerin teknik özelliklerine ve türbin verim denklemlerine bağlı olarak her bir ünite debisine göre belirlenen verim katsayısıdır. Bölüm 5.1.3'te detaylıca açıklanan ve her bir baraj için verilen türbin verim eğrisi denklemleri ile elde edilir.

Dönem Sonundaki Depolama Hacmi (S_{i+1}): İlgili aydaki işletme aşamalarının tamamlanmasından sonra dönem sonunda ulaşılan depolama hacmidir. Aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$S_{i+1} = S_i + I_i - E_i - IR - Son_i \quad (5.10)$$

Dönem Sonu Su Seviyesi (H_{i+1}): Dönem sonundaki depolama hacmine karşılık gelen ve haznelerin kot-alan-hacim eğrilerinden elde edilen haznedeki su seviyesidir.

Dönem Sonu Göl Alanı (A_{i+1}): Dönem sonun hazne su seviyesine karşılık gelen ve haznelerin kot-alan-hacim eğrilerinden elde edilen haznedeki göl alanıdır.

Dönem Sonunda Kuyruksuyu Seviyesi Değişim ($Y_{TW,i}$): İlgili dönemdeki türbinlenen debiye göre kuyruksuyu kanalında oluşan su seviyesindeki değişiktir. Kuyruk suyu seviyesindeki değişiklikler her bir baraj için bölüm 5.1.2'de Kuyruk

Suyu Kanalı Su Seviye Değişimi Hesaplamaları başlığı altında detaylıca açıklanmıştır.

Dönem Sonu Kuyruk Suyu Seviyesi ($H_{TW,i}$): Kuyruksuyu taban kotuna dönem sonunda kuyruk suyu seviyesindeki değişimin eklenmesi ile bulunmaktadır. Aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmaktadır. ($Z_{TW,i}$: kuyruksuyu kanalı taban kotu)

$$H_{TW,i} = Z_{TW,i} + Y_{TW,i} \quad (5.11)$$

Su Hızı (U_i): Net türbinlenen debinin türbinlere iletme esnasındaki cebri boru içerisindeki su hızıdır. Düşü kayıplarının hesaplanmasında kullanılmaktadır ve aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$U_i = \frac{Q_N}{\frac{\pi * D_C^2}{4}} \quad (5.12)$$

Cebri Boru Sürekli Kayıpları ($h_{LS,i}$): Cebri boru içerisinde sürtünmeden kaynaklı meydana gelen kayıplardır. Darcy-Weisbach denklemine göre hesaplanmaktadır.

$$h_{LS,i} = f * \left(\frac{L_C}{D_C}\right) * \left(\frac{U_i^2}{2g}\right) \quad (5.13)$$

Cebri Boru Yersel Kayıpları ($h_{LY,i}$): Cebri boru içerisinde kurplarda meydana gelen bölgesel kayıplardır. Aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$h_{LY,i} = K * \left(\frac{U_i^2}{2g}\right) \quad (5.14)$$

Ortalama Hazne Su Seviyesi ($H_{ort,i}$): Dönem başındaki ve dönem sonundaki hazne su seviyeleri dikkate alınarak hesaplanan ilgili ay için ortalama hazne su seviyesidir. Aynı zamanda ilgili aydaki enerji üretimine esas su seviyesidir. Aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$H_{ort,i} = \left(\frac{H_i + H_{i+1}}{2} \right) \quad (5.15)$$

Net Düşü ($H_{N,i}$): İlgili dönem sonuna kadar yaşanan hazne su seviyesi değişiklikleri sonrasında elde edilen net düşüdür. Ortalama su seviyesinden kuyruk suyu seviyesinin ve düşü kayıpların çıkarılması ile elde edilmektedir.

$$H_{N,i} = H_{ort,i} - H_{TW,i} - h_{LS,i} - h_{LY,i} \quad (5.16)$$

Ünite Enerji Üretimi ($E_{T,i}^n$): İlgili dönem boyunca her bir ünite de üretilen enerjidir. Aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. Burada n santraldeki ünite sayısıdır.

$$E_{T,i}^n = 9,81 * Q_{T,i}^n * H_{N,i} * \mu_{T,i}^n * t_{n,i} \quad (5.17)$$

Toplam Enerji Üretimi ($E_{T,i}$): Her ay ilgili barajın her bir ünitesinde üretilen enerjiler ayrı ayrı ünite bazında hesaplanmaktadır. Her bir ünite de üretilen aylık enerjilerin toplanması ile elde edilmektedir. Her barajın ilgili aydaki toplam enerji üretimidir. Toplam enerji üretimi santraldeki ünite sayısına bağlı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. Burada n santraldeki ünite sayısıdır.

$$E_{T,i} = \sum_1^n E_{T,i}^n \quad (5.18)$$

Hazne Çıkış Akımları ($S_{D,i}$): Haznelerden bırakılacak olan akımların toplamıdır. Can Suyu, Savaklanan Akım ve Net Türbinlenen Hacim'in toplanması ile elde edilmektedir.

$$S_{D,i} = S_L + S_{p_i} + S_{N,i} \quad (5.19)$$

Sıralı haznelerin işletme kural eğrilerinin geliştirilmesindeki ilk aşama olan Ardışık akım öteleme yönteminin yukarıda açıklanan adımları MATLAB programında kodlanarak her iki baraj için de uygulanmıştır. Bu aşama tamamlandıktan sonra kural eğrilerinin elde edilmesi için eniyileme aşamasına geçilmektedir.

5.6 Sıralı Haznelerin İşletme Kural Eğrilerinin Geliştirilmesi İçin Eniyileme Yapılması

Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı sıralı haznelerinin işletme kural eğrilerinin geliştirilmesi için MATLAB programı kullanılmıştır. MATLAB programında yazılan kodlar ve oluşturulan fonksiyonlar sonrasında Guguk Kuşu algoritması kullanılarak eniyileme çalışmaları yapılmıştır.

Sıralı haznelerde enerji üretimini en büyükmek için haznedeki su seviyesi mümkün olan en yüksek kotlarda tutulmalıdır. Sulama suyu talepleri ve gerekli kısıtlar dikkate alınarak her ay işletilen haznelerde hedef su seviyeleri belirlenerek haznelerin bu kotlarda tutulması sağlanmaktadır. Her ay enerji üretimi için kullanılacak su miktarları hedef su seviyelerine göre belirlenmektedir.

Bu tez çalışmasına konu olan sıralı hazneler için işletme kural eğrileri geliştirme probleminin ana karar değişkeni hedef su seviyeleridir. Ayrıca optimum türbin debisi ve ünite enerji üretim süresi bu problemin alt karar değişkenlerini oluşturmaktadır.

Bu eniyileme problemi kütle denge denklemlerine dayanan bir amaç fonksiyonu ve bir dizi kısıtlamalardan oluşmaktadır. Bu eniyileme probleminin çözülmesi için oluşturulan amaç fonksiyonu ve kullanılan karar değişkenleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Amaç Fonksiyonu:

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{228}(E_{A,i}^1 + E_{A,i}^2) + \sum_{i=1}^{228}(E_{C,i}^1 + E_{C,i}^2 + E_{C,i}^3) \quad (5.20)$$

Burada; Emax toplam enerji üretimidir ve optimize edilecek amaç fonksiyonudur.

i; işletme çalışması yapılan dönemdeki ay sayısını,

$E_{A,i}^1$ ve $E_{A,i}^2$; Adıgüzel Barajı'ndaki iki türbinde üretilen aylık enerjiler,

$E_{C,i}^1$, $E_{C,i}^2$ ve $E_{C,i}^3$; Cindere Barajı'ndaki üç türbinde üretilen aylık enerjiler,

Kısıtlar:

$$S_{i+1} - S_i = I_i - P_i - E_i - IR - Son_i \quad i=1,2,\dots,228 \quad (5.21)$$

S_{i+1} ; Dönem sonundaki depolama hacmi,

S_i ; Dönem başındaki depolama hacmi,

I_i ; Aylık hazne giriş akımı,

P_i ; Hazne göl alanına düşen yağış miktarı,

E_i ; Aylık hazne göl alanında gerçekleşen buharlaşma miktarı,

IR ; Hazneden bırakılması gereken aylık sulama miktarı,

Son_i ; Dönem sonunda hazneden bırakılacak net hacim,

$$h_{1,min} \leq h_{1,T} \leq h_{1,max} \quad T=1,2,\dots,12 \quad (5.22)$$

$$h_{2,min} \leq h_{2,T} \leq h_{2,max} \quad T=1,2,\dots,12 \quad (5.23)$$

$$S_{1,min} \leq S_{1,T} \leq S_{1,max} \quad T=1,2,\dots,12 \quad (5.24)$$

$$S_{2,min} \leq S_{2,T} \leq S_{2,max} \quad T=1,2,\dots,12 \quad (5.25)$$

$$Q_{A,min} \leq Q_{A,1}, Q_{A,2} \leq Q_{A,max} \quad (5.26)$$

$$Q_{C,min} \leq Q_{C,1}, Q_{C,2}, Q_{C,3} \leq Q_{C,max} \quad (5.27)$$

$h_{1,min}$; Adıgüzel Barajı minimum işletme kotu,

$h_{1,max}$; Adıgüzel Barajı maksimum işletme kotu,

$h_{1,T}$; Adıgüzel Barajında her ay için hedeflenen işletme kotu,

$h_{2,min}$; Cindere Barajı minimum işletme kotu,

$h_{2,max}$; Cindere Barajı maksimum işletme kotu,

$h_{2,T}$; Cindere Barajında her ay için hedeflenen işletme kotu,

$S_{1,min}$; Adıgüzel Barajı minimum işletme kotundaki hazne hacmi,

$S_{1,max}$; Adıgüzel Barajı maksimum işletme kotundaki hazne hacmi,

$S_{1,T}$; Adıgüzel Barajında aylık hedeflenen işletme kotundaki hazne hacmi,

$S_{2,min}$; Cindere Barajı minimum işletme kotundaki hazne hacmi,

$S_{2,max}$; Cindere Barajı maksimum işletme kotundaki hazne hacmi,

$S_{2,T}$; Cindere Barajında aylık hedeflenen işletme kotundaki hazne hacmi,

$Q_{A, min}$; Adıgüzel Barajı minimum türbin debisi,

$Q_{A, max}$; Adıgüzel Barajı maksimum türbin debisi,

$Q_{A, 1}$ ve $Q_{A, 2}$; Adıgüzel Barajı için enerji üretimine esas aylık debiler,

$Q_{C, min}$; Cindere Barajı minimum türbin debisi,

$Q_{C, max}$; Cindere Barajı maksimum türbin debisi,

$Q_{C, 1}$, $Q_{C, 2}$ ve $Q_{C, 3}$; Cindere Barajı için enerji üretimine esas aylık debiler ,

Tüm bu kısıtlar dikkate alınarak amaç fonksiyonu en büyüklenmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, çok amaçlı sıralı haznelerin işletme kural eğrilerini elde etmek için MATLAB R2016 programı ortamında Guguk Kuşu algoritması kullanılarak eniyileme çalışması yapılmıştır. Yapılan eniyileme çalışmasında Windows 10, 12 GB RAM ve 2.40 GHz işlemci özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Problemin çözümü için, Guguk Kuşu algoritmasında 5000 nesil ve her nesilde 30 popülasyon oluşturacak şekilde eniyileme yapılmış ve işlem süresi yaklaşık 65 saat sürmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su ve Enerji, toplumların en önemli ihtiyaçlarından biridir. Her geçen yıl ülkemizdeki artan nüfus ve gelişmişlik düzeyi ile birlikte su ve enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu durum ülkemizde var olan su kaynaklarının en iyi şekilde kullanılmasını ve artan enerji ihtiyacına karşılık her yıl daha fazla enerji üretimi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Türkiye’de enerji üretiminin büyük bir kısmı petrol, doğalgaz gibi ithal ve tükenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu durum enerji kaynaklarında dışa bağımlılığa sebep olmakta ve enerji üretiminin birim maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle birim maliyetin daha az olduğu ve sürdürülebilirliğin sağlanabildiği yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları enerji üretiminde önem arz etmektedir.

Hidroelektrik enerji ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Türkiye’deki elektrik enerjisi kurulu gücünün %30’u hidrolik kaynaklardan oluşmaktadır. Ülkemizdeki hidrolik kaynaklarla kurulan tesislerin yaklaşık %70’i biriktirmeli barajlardan oluşmaktadır. Bu nedenle biriktirmeli barajların verimli kullanılması gerekmektedir. Biriktirmeli barajların verimli kullanılması için hazne işletme politikalarını belirlemek ve hazne işletme eniyilemesi yapmak su kaynaklarının planlaması ve yönetiminin de önemli konularından biridir.

Bu tez kapsamında çok amaçlı sıralı haznelerin gerekli su taleplerini karşılarken aynı zamanda enerji üretiminin de en büyüklenmesi amaçlanarak hazne işletme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, ülkemizde var olan su kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi ve mevcut biriktirmeli hidroelektrik santrallerimizde sadece yeni işletme politikaları oluşturarak daha fazla enerji üretimi yapılabilmesi araştırılmıştır.

Çok amaçlı sıralı haznelerin belirlenen kısıtlar çerçevesinde en az su tüketimi ile en çok enerji üretimi gerçekleştirebilmesi amaçlanarak yapılan bu çalışmada, hazne işletme kural eğrilerinin oluşturulması için gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında üst sezgisel yöntemlerden faydalanılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada Büyük Menderes Nehri üzerinde bulunan Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali ile Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali projeleri örnek çalışma sahası olarak seçilmiştir.

Adıgüzel Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Denizli ve Uşak illerinin sınırları içerisinde Büyük Menderes Nehri üzerindedir. Adıgüzel Barajı sulama, enerji üretimi ve taşkın kontrolü amacıyla planlanmıştır. Adıgüzel Hidroelektrik Santrali toplam 62 MWe kurulu güce ve yıllık 280 GWh elektrik üretim potansiyeline sahiptir. Cindere Barajı ve Hidroelektrik Santrali ise Denizli'nin Güney ilçesi sınırları içerisinde, Büyük Menderes Nehri üzerinde, Adıgüzel Barajı mansabında yer almaktadır. Cindere Barajı Devlet Su İşleri tarafından sulama ve enerji üretimi amacıyla planlanmıştır. Cindere Hidroelektrik Santrali toplam 29,31 MWe kurulu gücüne ve fizibilite hesaplamalarına göre yıllık 88,10 GWh enerji üretimine sahiptir.

Hazne işletme çalışması süreklilik denklemi ile hazneye giren akımlar, haznedeki çıkan akımlar ve kayıpların hesaplanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada 1999 – 2017 yılları arasındaki ortalama Adıgüzel Barajı giriş akımları ile Adıgüzel Barajı ile Cindere Barajı arasındaki aylık ortalama ara havza akımları kullanılmıştır. Hazne işletmesi için temel kurallar ardışık akım ötelemesinde kullanılan giriş akımları, çıkış akımları, su kayıpları, depolama kapasiteleri vb. değişkenler dikkate alınarak belirlenmiştir. Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı'nın geçmiş 228 aylık (1999-2017) akım verileri kullanılarak MATLAB ortamında yazılan kodlar ve fonksiyonlar ile öncelikle ardışık akım öteleme yöntemi ile sıralı hazneler işletilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan hazne işletme çalışmasında diğer yapılan çalışmalardan farklı olarak bir optimum türbin debisi kavramı kullanılmıştır. Optimum türbin debisi türbin verimini en büyükmeyi amaçlayan debidir. Türbin verim eğrilerinden de görüleceği üzere optimum debi, türbin doluluk oranında yaklaşık %90 doluluk sağlayan debidir. Optimum türbin debilerinin belirlenmesi için her santralin türbin sayısı ve türbin tasarım kriterlerine göre Bölüm 5.3.1 ve Bölüm 5.3.2'de belirtilen kısıtlar çerçevesinde modeller oluşturulmuştur. Hazne işletme kural eğrilerinin geliştirilmesi için yapılan sıralı hazne işletme eniyileme çalışmasında her ay türbinlenmesine karar verilen aylık hacim, türbinlere türbin verimliliğini dikkate alan bu modellere göre dağıtılmıştır.

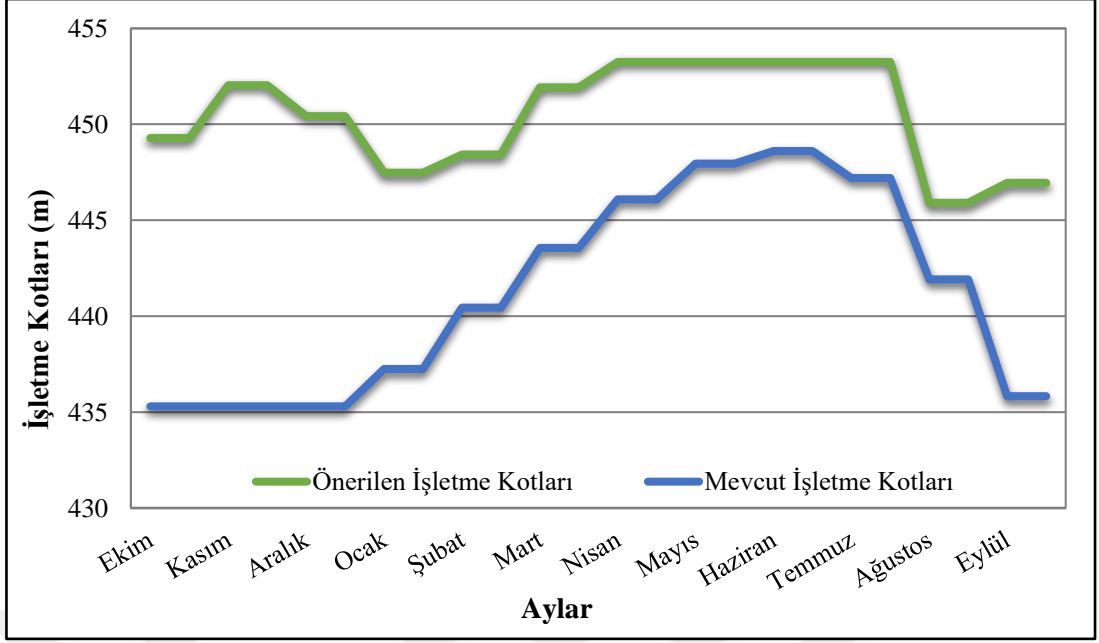
Ardışık Akım Öteleme yönteminin uygulanmasından sonra toplam enerji üretimini en büyükmek için sıralı haznelerin her birinin kısıtlarını dikkate alarak oluşturulan amaç fonksiyonu MATLAB programında Guduk Kuşu algoritması aracılığıyla eniyilenecek hazne işletme kural eğrilerinin kotları elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada her bir baraj için en iyi hazne işletme politikasının belirlenmesi sonucunda, her dönem için en uygun hazne işletme kotlarını gösteren hazne işletme kural eğrileri elde edilmiştir. Adıgüzel Barajı için mevcutta kullanılan işletme kotları ile bu çalışma sonucunda önerilen işletme kotları Tablo 6.1' de, Cindere Barajı için mevcutta kullanılan işletme kotları ile bu çalışma sonucu önerilen işletme kotları ise Tablo 6.2' de sunulmaktadır.

Tablo 6.1: Adıgüzel Barajı mevcut işletme kotları ve eniyileme sonucunda önerilen işletme kotları

Aylar	Mevcut İşletme Kotları	Önerilen İşletme Kotları
Ekim	435,30	449,29
Kasım	435,30	452,03
Aralık	435,30	450,44
Ocak	437,25	447,47
Şubat	440,44	448,42
Mart	443,55	451,92
Nisan	446,10	453,25
Mayıs	447,96	453,25
Haziran	448,61	453,25
Temmuz	447,20	453,25
Ağustos	441,91	445,91
Eylül	435,83	446,96

Yapılan eniyileme çalışması sonucunda Adıgüzel Barajı için önerilen işletme kotları Tablo 6.1'de görüldüğü üzere mevcut işletme kotlarından daha üst kotlardadır. Böylece önerilen işletme kotları ile su tüketimini artırmadan daha fazla enerji üretimi yapılabilmektedir. Bu durum hazne işletme politikalarının önemini açıkça göstermektedir.



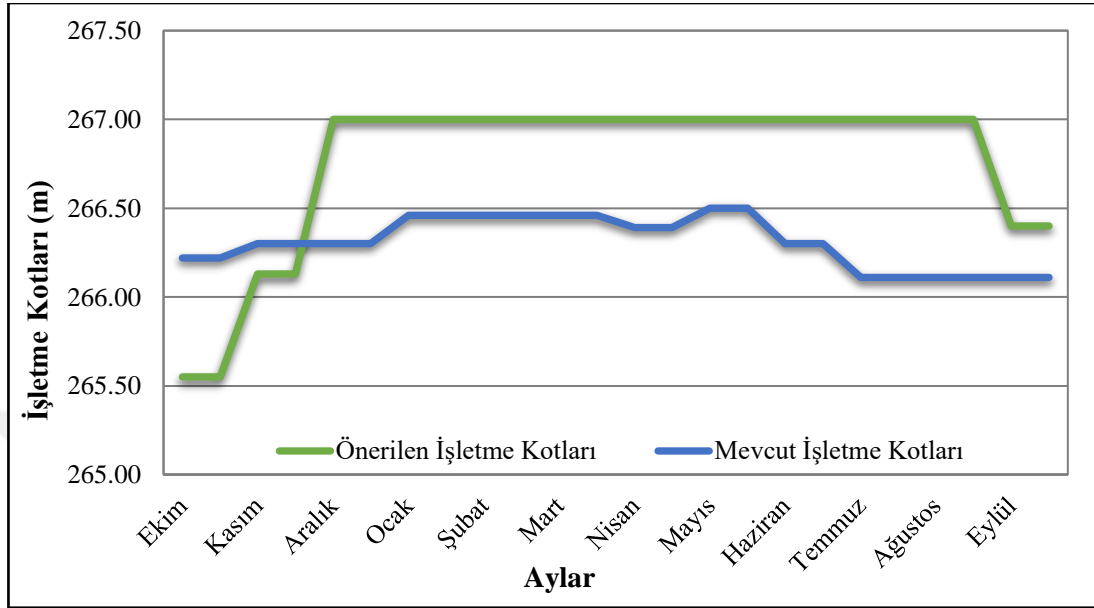
Şekil 6.1: Adıgüzel Barajı aylık işletme kotlarının karşılaştırması

Sıralı hazne işletme eniyileme çalışmaları sonucunda Adıgüzel Barajı için elde edilen işletme kural eğrisi ile mevcut işletme kural eğrisinin karşılaştırması Şekil 6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6.2: Cindere Barajı mevcut işletme kotları ve eniyileme sonucunda önerilen işletme kotları

Aylar	Mevcut İşletme Kotları	Önerilen İşletme Kotları
Ekim	266,22	265,55
Kasım	266,30	266,13
Aralık	266,30	267,00
Ocak	266,46	267,00
Şubat	266,46	267,00
Mart	266,46	267,00
Nisan	266,39	267,00
Mayıs	266,50	267,00
Haziran	266,30	267,00
Temmuz	266,11	267,00
Ağustos	266,11	267,00
Eylül	266,11	266,40

Eniyileme sonucunda Cindere Barajı için önerilen işletme kotları Tablo6.2’de görüldüğü üzere mevcut işletme kotlarından bir miktar daha üst kotlardadır. Önerilen işletme kotları ile daha fazla düşü elde ederek enerji üretimi artırılabilir.



Şekil 6.2: Cindere Barajı aylık işletme kotlarının karşılaştırması

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’den de anlaşılacağı üzere, mevcut işletme kotları bu tez kapsamında yapılan eniyileme çalışması sonucunda elde edilen işletme kural eğrilerinin kotlarından düşüktür. Bu durumun enerji üretimine sağladığı katkının yanı sıra olası kurak dönemlerde sıralı haznelar bu kuraklığa daha fazla hacimle dolu olarak yakalanmasını sağlamaktadır. Böylece olası kurak dönemler için sıralı hazneların sulama taleplerini karşılayamama problemi ortadan kalkmaktadır. Özellikle 821 milyon metreküp aktif hacme sahip Adıgüzel Barajı bu tez kapsamında eniyilemesi yapılan sıralı barajlar sisteminin ana depolama görevini üstlenmektedir. Eniyileme sonuçları ile Adıgüzel Barajı işletme kotları bazı aylarda yaklaşık 17 m daha üst kotlara taşınmıştır. Bu durum sıralı barajlar sisteminin aktif depolama miktarını oldukça fazla artırarak olası kurak dönemler için su taleplerini karşılayamama riskini ortadan kaldırmaktadır.

DSİ Aydın Müdürlüğü’nden temin edilen bilgilere göre; 1999–2017 yılları arasında Adıgüzel Barajında toplam 2171,07 GWh, 2012–2017 yılları arasında da Cindere Barajında toplam 378,97 GWh enerji üretimi gerçekleştirmiştir. Mevcut işletme politikaları ile bu iki barajda toplam 2550,04 GWh enerji üretimi yapılmıştır.

Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı bu çalışma kapsamında elde edilen kural eğrileri dikkate alınarak işletilmiş ve sıralı barajların hazne işletmesi sonucunda gerçekleşen enerji üretimleri Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'te verilmiştir. Ayrıca işletme dönemi içerisindeki 2007 ve 2008 yıllarında yaşanan kuraklık ve teknik sorunlar nedeniyle Adıgüzel Barajı üretimlerinde oldukça fazla bir düşüş olmuştur. Yaşanan kuraklığın etkisi bu tez kapsamında yapılan sıralı hazne işletme çalışmasında dikkate alınarak ilgili yıllardaki üretimlere yansıtılmıştır.

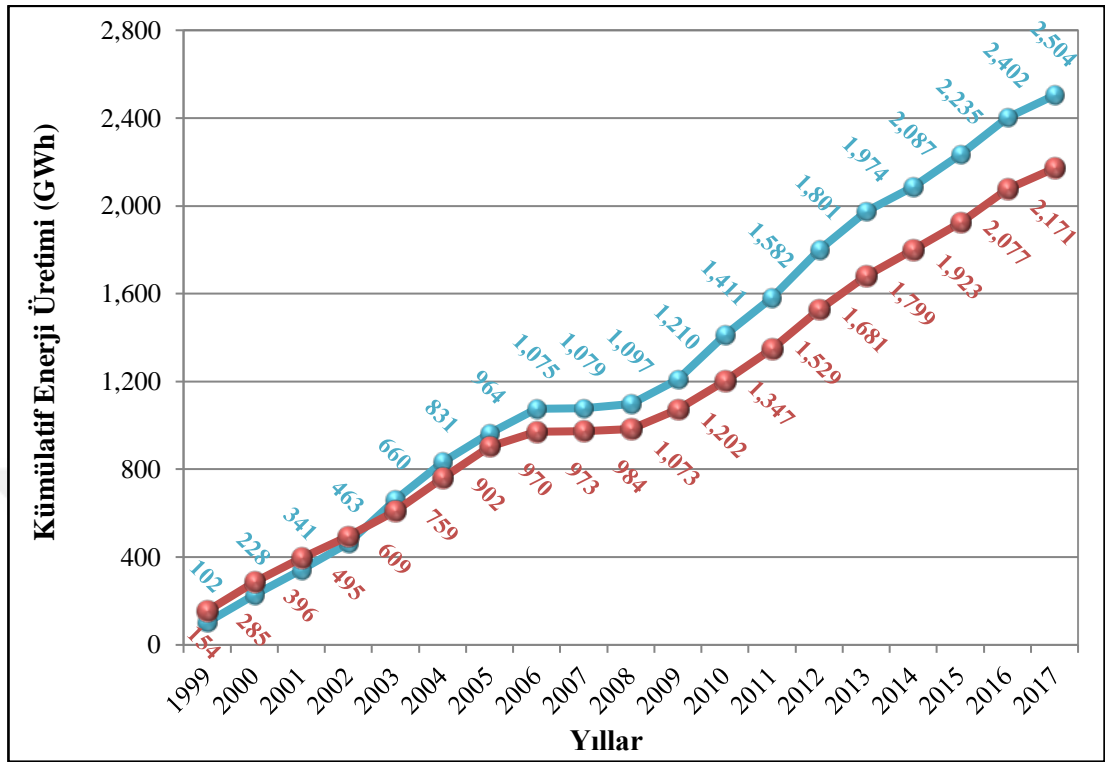
Tablo 6.3: Adıgüzel Barajı eniyileme sonucunda gerçekleşen enerji üretim değerleri

Yıllar	Enerji Üretimi (GWh)
1999	102,40
2000	125,21
2001	113,75
2002	122,13
2003	196,67
2004	171,27
2005	132,21
2006	111,09
2007	4,33
2008	18,05
2009	112,58
2010	201,38
2011	170,49
2012	219,03
2013	173,23
2014	113,29
2015	148,01
2016	166,49
2017	101,98
TOPLAM	2.503,56

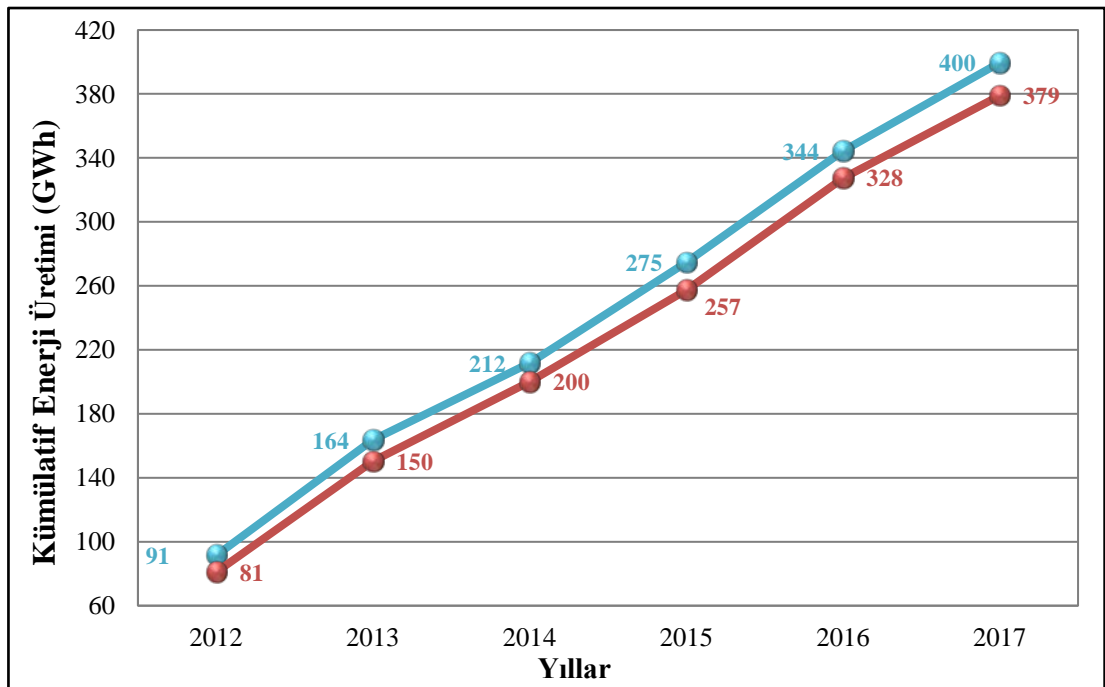
Tablo 6.4: Cindere Barajı eniyileme sonucunda gerçekleşen enerji üretim değerleri

Yıllar	Enerji Üretimi (GWh)
2012	91,44
2013	72,22
2014	48,11
2015	62,91
2016	69,69
2017	55,18
TOPLAM	399,54

Ayrıca her iki barajın da enerji üretimi yaptığı yıllar için kümülatif enerji üretimi karşılaştırması Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de sunulmuştur.



Şekil 6.3: Adıgüzel Barajı kümülatif enerji üretiminin karşılaştırması



Şekil 6.4: Cindere Barajı kümülatif enerji üretiminin karşılaştırması

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'den da anlaşılacağı gibi Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı, bu tez kapsamında yapılan çok amaçlı sıralı barajların hazne işletme eniyileme çalışmaları sonucunda elde edilen işletme kural eğrilerine bağlı kalarak işletildiğinde, Adıgüzel Barajı'nda 1999-2007 yılları arasında 2503,56 GWh, Cindere Barajı'nda 2012 – 2017 yılları arasında 399,54 GWh enerji üretimi gerçekleştirebileceği hesap edilmiştir. Çok amaçlı sıralı haznelerin işletme kural eğrileri elde edildikten sonra önerilen bu kural eğrilerine bağlı işletilen Adıgüzel Barajı ve Cindere Barajı'nda toplam 2903,10 GWh enerji üretimi yapılmaktadır. Eniyileme sonucunda elde edilen kural eğrileri ile tüm su talepleri karşılanarak 353,07 GWh daha fazla enerji üretilmiştir. Eniyileme sonucunda ortaya çıkan bu fazla enerji üretimi, her iki barajın gerçekleşen toplam enerji üretimi miktarında yaklaşık %14 bir artış sağlamaktadır. Böylece bu da bu tez kapsamında geliştirilen işletme politikaları, çok amaçlı sıralı barajların içme suyu, sulama ve taşkın kontrolü gibi öncelikli taleplerini karşılayarak enerji üretimini en büyüklediğini doğrulamaktadır.

Mevcut su kaynaklarının verimli kullanılmasının yanı sıra hidroelektrik enerji üretiminin ulusal ekonomiye katkısını da düşündüğümüzde; üretilen bu 353,07 GWh fazla enerji 0,073 USD / kWh alım garantili birim fiyat ile yaklaşık 26 milyon USD artı değer kazandırmaktadır. Herhangi bir yatırım yapmadan sadece işletme politikalarının değiştirilmesi ile bu sıralı barajların daha fazla enerji üretimi gerçekleştirebileceği ve böylece ülke ekonomisine daha fazla katkı sağlayacağı görülmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların tüm bu sonuçları değerlendirildiğinde; büyük akarsular üzerinde kurulan biriktirmeli barajların tek başına işletilmesi yerine bir sıralı barajlar sistemi olarak işletilmesi ve daha gelişmiş yöntemlerle elde edilen işletme kural eğrilerine bağlı kalarak işletilmesi tüm sulama taleplerini karşılanarak enerji üretimini ciddi miktarda arttırdığı görülmektedir. Bu çalışmanın, örnek bir çalışma alanı üzerinde sonuçları dahi ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlarken, ülkemizdeki teknik olarak uygun olan biriktirmeli hidroelektrik santrallerin tamamı için yapılması ülke ekonomisine çok ciddi değer katacağı net bir biçimde ortaya konmaktadır. Ayrıca ülkemizdeki su kaynaklarının ve akarsuların kurak bir eğilim içerisinde olduğu bu zamanda, yapılan bu çalışmanın mevcut su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağladığı açıkça anlaşılmaktadır.

6.1 Öneriler

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında ele alınmayan, ancak yapılmasında yarar olacağı düşünülen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Kural eğrileri elde edildikten sonra gerçekleşen aylara ilişkin veriler eklenerek işletme çalışmaları yenilenmeli bu sayede güncel kural eğrileri elde edilebilir.
- Bu tez kapsamında Büyük Menderes nehri ana kolu üzerinde bulunan iki biriktirmeli baraj için hazne işletme çalışması yapılmıştır. Büyük Menderes nehri yan kollarında bulunan tesisler dikkate alınmamıştır. Bir sonraki çalışmada havzada bulunan tüm biriktirmeli tesisler dikkate alınarak çalışma tekrarlanabilir.
- İklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak geleceğe ilişkin öngörüler ile haznelerin işletilme çalışmaları tekrarlanabilir.
- Bu çalışma diğer eniyileme algoritmaları kullanılarak yeniden yapılabilir.

7. KAYNAKLAR

"2016 yılı sonu itibariyle nüfusu [online]", (31 Ocak 2017), <http://www.tuik.gov.tr>, (2017).

"Adıgüzel Barajı ve HES [Online]", <http://www.enerjiatlasi.com/hidroelektrik/adiguzel-baraji.html>, (2017).

Afshar, A., Shafii, M. ve Haddad, O. B., "Optimizing Multi-reservoir Operation Rules: An Improved HBMO Approach", *Journal of Hydroinformatics*, 13 (1), 121-139, (2011).

Awchi, T., "Optimal planning and operation of a reservoir", Doktora Tezi, *Submitted to the Indian Institute of Technology-Roorkee, Roorkee*, (2004).

Barros, M. T., Ros, D. A., & Lopes, J. E., "Objective Functions for Hydropower System Operation", *Watershed Management Conference*, Williamsburg, Virginia, 1-11, (2005).

Barros, M., Tsai, F., Yang, S.-L., Lopes, J., and Yeh, W., "Optimization of large-scale hydropower system operations", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129 (3), 178-188, (2003).

Bellman, R., *Dynamic programming*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, (1957).

"BP Statistical Review of World Energy 2016 [online]", <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics>, (2016).

Braga, B., Yeh, W., ve Barros, M., "Stochastic optimization of multiple-reservoir-system operation", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 117 (4), 471-481, (1991).

"Büyük Menderes Nehri [online]", <https://www.wikipedia.org>, (2015).

Cai, X., Mckinney, D., and Lasdon, L. S., "Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach", *Advances in Water Resources*, 2 (6), 667–676, (2001).

Celeste, A.B. ve Bilib, M., "Evaluation of stochastic reservoir operation optimization models", *Advances in Water Resources*, (32), 1429-1443, (2009).

Cheng, C.-T., Wang W.-C., Xu D.-M. ve Chau K. W.. "Optimizing hydropower reservoir operation using hybrid genetic algorithm and chaos", *Water Resources Manage*, (22), 895-909, (2008).

"Cindere Barajı ve HES [Online]",
<http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/cindere-barajı.html>, (2017).

Demirtaş, F. ve Zengin, K., "Guguk Kuşu Algoritmasının Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması ve Simülasyonu", *EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Tokat, (2016).

"Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2014 Yılı Faaliyet Raporu", Ankara: DSİ, (2014).

"DSİ Genel Müdürlüğü Adıgüzel Barajı [online]",
<http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=153>, (2014).

"DSİ Genel Müdürlüğü Cindere Barajı [online]",
<http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=211>, (2014).

DSİ Genel Müdürlüğü, "*Büyük Menderes Cindere Projesi Planlama Raporu*", (1986).

DSİ Genel Müdürlüğü, "*I. Merhale Projeleri Büyük Menderes Nehir Havzası Fizibilite Raporu*", (1969).

Elen A., ve Turan M. K., "Genetik Algoritmalar Ve Çoklu Dizi Hizalama Probleminin Çözümü", *XIII Tıbbi Biyoloji ve Genetik Kongresi*, Aydın, (2013).

Esat, V. ve Hall, M.J., "Water resources system optimization using genetic algorithms", *Proceedings of the first International Conference on Hydroinformatics*, Rotterdam, 225-231, (1994).

Fahmy, H. S., King, J. P., Wentzel, M. W., and Seton, J. A., "Economic optimization of river management using genetic algorithms", *ASAE 1994 International Summer Meeting*, 943034, St. Joseph, Michigan, (1994).

Gandomi, A. H., Yang, X. S. Ve Alavi, A. H., "Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems", *Engineering with Computers*, 29 (1), 17-35, (2013).

Goldberg, D.E., "Computer-aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Rule Learning", Doktora Tezi, *University of Michigan*, Ann Arbor, (1983).

Haddad, O. B., Afshar, A., Marino, M. A., "Design-Operation of Multi-Hydropower Reservoirs: HBMO Approach", *Water Resources Management*, 22 (12), 1709–1722, (2008).

Heidari, M., Chow, V., Kotovic, P., and Meredith, D., "Discrete differential dynamic programming approach to water resources system optimization", *Water Resources Research*, 7 (2), 273-282, (1971).

Hınçal, O., Altan-Sakarya, A. B., ve Ger, A. M., "Optimization of Multireservoir Systems by Genetic Algorithm", *Water Resources Management*, 25 (5), 1465–1487, (2011).

Holland, J. H., *Adaptation in natural and artificial systems*, Ann Arbor: University of Michigan Press, (1975).

Hormwichian, R., Kangrang, A. ve Lamom, A., "Conditional Genetic Algorithm Model for Searching Optimal Reservoir Rule Curves", *Journal of Applied Sciences*, 9 (19), 3575-3580, (2009).

Jothiprakash, V. ve Arunkumar, R., "Multi-Reservoir Optimization for Hydropower Production Using NLP Technique", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (1), 344-354, (2014).

Kangrang, A. ve Chleeraktragoon, C., "Genetic Algorithms Connected Simulation with Smoothing Function for Searching Rule Curves", *American Journal of Applied Sciences*, 4 (2), 73-79, (2007).

Karamouz, M., Houck, M., ve Delleur, J., "Optimization and simulation of multiple reservoir systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 118 (1), 71-81, (1992).

Labadie, J. W. ve ASCE, M., "Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review", *Journal of Water Resources Planning and Management*, (130), 93-111, (2004).

Larson, R. E., *State increment dynamic programming*, New York:Elsevier Science, (1968)

Li, C., Zhou, J., Ouyang, S., Ding, X., Chen, Lu., "Improved Decomposition–Coordination And Discrete Differential Dynamic Programming for Optimization of Large-Scale Hydropower System", *Energy Conversion and Management*, 84, 363-373, (2014).

Liu, P., Guo, S., Xu, X., Chen, J., "Derivation of Aggregation-Based Joint Operating Rule Curves for Cascade Hydropower Reservoirs", *Water Resources Management*, 25 (13), 3177–3200, (2011).

Lu, B., Li, K., Zhang, H., Wang, W. ve Gu, H., "Study on the optimal hydropower generation of Zhelin reservoir", *Journal of Hydro-Environment Research*, 1-9, (2013).

Ngo, L. L., "Optimising Reservoir Operation: A case study of the Hoa Binh reservoir, Vietnam", Doktora Tezi, *Institute of Environment & Resources, University of Denmark*, Kongens Lyngby, (2006).

Oliveira, R., ve Loucks, D., "Operating rules for multireservoir systems", *Water Resources Research*, 33(4), 839-852, (1997).

"Orman Ve Su İşleri Bakanlığı GeoData Uygulaması [Online]", <http://geodata.ormansu.gov.tr/>, (2013).

Özalp, S.A., "Biriktirmeli Baraj Haznelerinde İşletme Eğrisinin Oluşturulması (Adıgüzel/Denizli Barajı Örneği)", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2016).

Rani, D. Ve Moreira, M.M., "Simulation–Optimization Modeling: A Survey and Potential Application in Reservoir Systems Operation", *Water Resources Management*, 24 (6), 1107–1138, (2010).

Rani, D., ve Moreira M. M., "Simulation-Optimization Modeling: A Survey and Potential Application in Reservoir", *Water Resources Management*, 24 (6), 1107–1138, (2009).

Simonovic, S. P., "Reservoir system analysis: closing gap between theory and practice", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 118 (3), 262-280, (1992).

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, "*Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Büyük Menderes Havzası Nihai Raporu*", (2010).

"Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü [online]", (Şubat 2018), <http://www.teias.gov.tr>, (2018).

U.S. Army Corps of Engineers(USACE)., *Engineering and Design - Hydropower*, Washington, DC.:The Corps, (1985).

Wardlaw, R., ve Sharif, M., "Evaluation of Genetic Algorithms for Optimal Reservoir System Operations", *Journal Of Water Resources Planning and Management*, 125(1), 25 – 33, (1999).

Wardlaw, R., ve Sharif, M., "Multireservoir Systems Optimization Using Genetic Algorithms: Case Study", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14 (4), (2000).

Wurbs, R. A., "Reservoir-system simulation and optimization models" *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119 (4), 455–472, (1993).

Wurbs, R. A., *Comparative Evaluation of Generalized Reservoir/River System Models*, Texas: Texas Water Resources Institute College Station, (2005).

Yakowitz, S., "Dynamic programming applications in water resources", *Water Resources Research*, 18 (4), 673–696, (1982).

Yang, K., Zheng, J., Yang, M., Zhou, R., ve Liu, G., "Adaptive Genetic Algorithm for Daily Optimal Operation of Cascade Reservoirs and its Improvement Strategy", *Water Resources Management*, 27 (12), 4209–4235, (2013).

Yang, X. S., "Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimisation", *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 2 (2), 78-84 , (2010).

Yang, X. S., *Cuckoo Search and Firefly Algorithm: Overview and Analysis*, Switzerland:Springer Publishing Company, (2014).

Yang, X. S., *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, UK:Luniver Press, (2010).

Yang, X. S., ve Deb, S., "Cuckoo search via Lévy flights", *Proceedings of the world congress on nature and biologically inspired computing (NaBIC '09)*, New Jersey, (2009).

Yaşar, M., "Optimization of Reservoir Operation Using Cuckoo Search Algorithm: Example of Adiguzel Dam, Denizli, Turkey", *Mathematical Problems in Engineering*, 2016 (1), 1-7, (2016).

Yeh, W., "Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review", *Water Resources Research*, 21 (12), 1797-1818, (1985).

Young, G. K., "Finding reservoir operating rules", *ASCE*, 93(6), 297–321, (1967).



8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail ARA

Doğum Yeri ve Tarihi : Erzincan, 28.01.1988

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : iaara08@posta.pau.edu.tr

i.ufukara@gmail.com

İletişim Adresi : İncilipınar Mahallesi, 1279. Sokak, No:19, D:8

Pamukkale / DENİZLİ