

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

**ÇİNE ADNAN MENDERES BARAJI VE HİDROELEKTRİK
SANTRALİ İÇİN SEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE
KURAL EĞRİSİ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNEM DURAN

DENİZLİ, EYLÜL - 2022

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



**ÇİNE ADNAN MENDERES BARAJI VE HİDROELEKTRİK
SANTRALİ İÇİN SEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE
KURAL EĞRİSİ OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNEM DURAN

DENİZLİ, EYLÜL - 2022

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.

SİNEM DURAN

ÖZET

**ÇİNE ADNAN MENDERES BARAJI VE HİDROELEKTRİK SANTRALİ
İÇİN SEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMİ İLE KURAL EĞRİSİ
OLUŞTURULMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SİNEM DURAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. MUTLU YAŞAR)**

DENİZLİ, EYLÜL - 2022

Hidroelektrik enerji, ülkemizdeki enerji bütçesinde en fazla paya sahip olan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dolayısıyla hidroelektrik santrallerin işletme çalışmalarının planlanması ülkenin kalkınmasında önem arz etmektedir. Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı, haznelere özgü geliştirilen işletme çalışmaları ile mümkün olmaktadır. Bu çalışma kapsamında Aydın ili, Çine ilçesinde bulunan Çine Adnan Menderes Barajı ve HES haznesine özgü geliştirilen işletme kural eğrisi sayesinde en az su tüketimi ile en fazla enerjiyi üretme potansiyelini dikkate alan işletme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu işletme çalışması oluşturulurken Çine HES'in 2014-2022 yılları arasındaki 91 aylık işletme dönemine ait veriler kullanılarak gerekli su taleplerinin karşılanması ve enerji üretiminin en yüksek seviyeye çıkarılması hedeflenmiştir. Bu kısıtlar ve hedefler dahilinde haznenin dönemsel olarak hangi seviyelerde çalışması gerektiğini tespit eden işletme kural eğrisi geliştirilmiştir. Kural eğrisi geliştirilmesinde ardışık akım öteleme metodu ve diferansiyel evrim optimizasyon tekniğinden yararlanılmıştır. Sulama ihtiyacı ve taşkın kontrolü gibi kısıtlar da dikkate alınarak oluşturulan işletme modelinde türbin veriminden de en iyi şekilde faydalanmak için optimum türbin debisi belirlenmiştir. Geliştirilen hazne işletme modelinin uygulanmasıyla enerji üretiminde %21 oranında artış sağlandığı sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Hazne işletmesi, Kural Eğrisi, Ardışık Akım Ötelemesi, Diferansiyel Evrim Optimizasyon Tekniği, Hidroelektrik Enerji

ABSTRACT

OBTAINING RULE CURVE WITH HEURISTIC OPTIMIZATION FOR ÇİNE ADNAN MENDERES DAM AND HYDROELECTRIC POWER PLANT

**MSC THESIS
SİNEM DURAN**

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

DENİZLİ, SEPTEMBER 2022

Hydroelectric energy is the renewable energy source that has the largest share in the energy budget in our country. Therefore, the planning of the operation policies of hydroelectric power plants is important in the development of the country. Sustainable use of water resources is possible with operational policies developed specifically for the reservoirs. Within the scope of this study, the operation rule curve was obtained for the Çine Adnan Menderes Dam and HEPP reservoir located in Aydın province, Çine district. Thus, it has been ensured to produce the most energy with the least water consumption. While creating this operation policy, it was aimed to meet the necessary water demands and to maximize energy production by using the data of the 91-month operation period between 2014-2022 of Çine HEPP. Within these constraints and targets, an operating rule curve has been developed, which determines the levels at which the chamber should operate periodically. Sequential streamflow routing and the differential evolution algorithm were used in the development of the rule curve. The optimum turbine flow rate was determined in order to make the best use of turbine efficiency in the operating model, which was created by taking into account the constraints such as irrigation need and flood control. It was concluded that with the application of the developed reservoir operating model, an increase of 21% was achieved in energy production.

KEYWORDS: Reservoir Operation, Rule-Curve, Sequential Streamflow Routing, Differential Evolution Optimization Technique, Hydroelectric Energy

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ | v |
| TABLO LİSTESİ | vi |
| SEMBOL LİSTESİ | viii |
| ÖNSÖZ..... | x |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Tezin Amacı ve Önemi..... | 4 |
| 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ..... | 7 |
| 3. HAZNE İŞLETMESİ..... | 18 |
| 3.1 Ardışık Akım Ötelemesi..... | 19 |
| 3.2 Hazne İşletme Kural Eğrisi | 20 |
| 4. ÇALIŞMA SAHASININ TANITILMASI..... | 22 |
| 4.1 Çalışma Alanı Coğrafi Özellikleri..... | 26 |
| 4.2 İklim ve Su Kaynakları..... | 28 |
| 4.2.1 İklim..... | 28 |
| 4.2.2 Meteoroloji..... | 28 |
| 4.2.3 Yağış | 30 |
| 4.2.4 Buharlaşıma | 32 |
| 4.2.5 Su Temini..... | 33 |
| 4.2.6 Sulama | 34 |
| 4.3 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES | 35 |
| 4.3.1 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Karakteristik Özellikleri | 36 |
| 4.3.2 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES İşletme Dönemi..... | 38 |
| 5. YÖNTEM VE METODOLOJİ..... | 41 |
| 5.1 Ardışık Akım Öteleme Metodu Yardımıyla Hazne İşletme Kural Eğrisinin Geliştirilmesinde Kullanılacak Veriler | 41 |
| 5.1.1 Hazne Kot-Alan-Hacim Değerleri | 42 |
| 5.1.1.1 Çine Adnan Menderes Barajı Kot-Alan-Hacim Verileri | 42 |
| 5.1.2 Kuyruk Suyu Kanalı Su Seviyeleri Hesabı..... | 43 |
| 5.1.2.1 Çine Adnan Menderes Barajı Kuyruk Suyu Anahtar Eğrisi ... | 44 |
| 5.1.3 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Türbin Verimi | 45 |
| 5.1.3.1 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Türbin Verim Eğrisi ... | 45 |
| 5.2 İşletme Kural Eğrilerinde Kullanılan Karakteristikler | 46 |
| 5.3 Hazne İşletme Kural Eğrisi İçin Optimum Türbin Debisinin Belirlenmesi..... | 47 |
| 5.3.1 Çine Adnan HES için Optimum Türbin Debisin Belirlenmesi.... | 48 |
| 5.4 Diferansiyel Evrim Optimizasyon Tekniği | 49 |
| 5.4.1 Popülasyonun Yapısı | 51 |
| 5.4.2 Başlangıç Popülasyonu | 52 |
| 5.4.3 Mutasyon | 52 |
| 5.4.4 Çaprazlama | 53 |
| 5.4.5 Seçim | 55 |
| 5.4.6 Diferansiyel Evrim Optimizasyon Tekniği Temel Adımları | 55 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.4.7 | Kodlama..... | 56 |
| 5.4.8 | Akış Şeması | 57 |
| 5.5 | Durdurma Kriteri | 59 |
| 5.6 | Ardışık Akım Öteleme Yöntemi İle Hazne İşletme Kural Eğrisi Elde Edilmesi..... | 59 |
| 5.6.1 | Ardışık Akım Öteleme Metodu Aşamaları..... | 60 |
| 5.7 | Optimizasyon ile Hazne İşletme Kural Eğrisinin Elde Edilmesi | 64 |
| 6. | SONUÇ VE ÖNERİLER | 68 |
| 6.1 | Sonuç | 68 |
| 6.2 | Öneriler..... | 72 |
| 7. | KAYNAKLAR..... | 73 |
| 8. | ÖZGEÇMİŞ..... | 78 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1: Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Miktarları (MW) (TSKB, 2021) | 2 |
| Şekil 3.1: Ardışık Akım Öteleme Yöntemi Şematik Gösterimi..... | 19 |
| Şekil 3.2: Hazne İşletme Kural Eğrisi..... | 21 |
| Şekil 4.1: Çalışma Alanının Türkiye ve Aydın İl’indeki Konumu | 22 |
| Şekil 4.2: Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Çine Çayı Üzerindeki Konumu | 23 |
| Şekil 4.3: Büyük Menderes Havzası Akarsular Haritası..... | 24 |
| Şekil 4.4: Çine Adnan Menderes Barajı Akarsular Haritası | 25 |
| Şekil 4.5: Çine Çayı üzerindeki barajlar | 26 |
| Şekil 4.6: Çine Adnan Menderes Barajı Şematik Gövde Kesiti | 27 |
| Şekil 4.7: Çalışma alanı akım gözlem ve meteoroloji istasyonu haritası (Tarım ve Orman Bakanlığı, Büyük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı, 2019)..... | 29 |
| Şekil 4.8: Büyük Menderes Havzası Yıllık Ortalama Yağış Dağılımı Haritası 30 | |
| Şekil 4.9: Aydın İli aylık yağış miktarı ortalamaları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [online])..... | 31 |
| Şekil 4.10: Topçam Barajı Meteoroloji İstasyonu Aylık Yağış Miktarı Ortalamaları (DSİ) | 32 |
| Şekil 4.11: Topçam Barajı Meteoroloji İstasyonu Aylık Ortalama Buharlaşma Değerleri (DSİ)..... | 33 |
| Şekil 4.12: Çine Adnan Menderes Barajı hazne giriş akımları aylık ortalama değerleri (hm ³) | 34 |
| Şekil 4.13: Çine Adnan Menderes Barajı aylık ortalama sulama suyu değerleri (hm ³)..... | 35 |
| Şekil 4.14: Çine Adnan Menderes Barajı Genel Görünümü..... | 36 |
| Şekil 4.15: Çine HES Konumu ve Yerleşimi..... | 36 |
| Şekil 4.16: Çine Adnan Menderes Baraj Gövdesi | 39 |
| Şekil 4.17: Çine Adnan Menderes HES İşletme Dönemi Yıllık Enerji Üretimleri | 40 |
| Şekil 4.18: Çine Adnan Menderes HES Kümülatif Enerji Üretimleri..... | 40 |
| Şekil 5.1: Çine Barajı Kot-Alan-Hacim Grafiği | 43 |
| Şekil 5.2: Çine HES Kuyruk Suyu Anahtar Eğrisi | 45 |
| Şekil 5.3: Çine HES Türbin Verim Eğrisi..... | 46 |
| Şekil 5.4: İki boyutlu parametre düzleminde mutasyon denkleminin oluşumu | 53 |
| Şekil 5.5: Olası deneme vektörlerinin kesişmesi | 54 |
| Şekil 5.6: Diferansiyel Evrim Algoritma Kodlaması..... | 57 |
| Şekil 5.7: Diferansiyel Evrim Algoritması Akış Şeması | 58 |
| Şekil 6.1: Çine Barajı Aylık İşletme Seviyelerinin Kıyaslanması | 70 |
| Şekil 6.2: Çine HES Kümülatif Enerji Üretimlerinin Karşılaştırılması..... | 71 |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Tablo 1.1: 2015 Yılı Türkiye Falkenmark Göstergesi (TSKB, 2019) | 4 |
| Tablo 4.1: Çine Adnan Menderes ve HES'e ait karakteristik özellikler | 37 |
| Tablo 5.1: Çine Barajı Kot-Alan-Hacim Değerleri..... | 42 |
| Tablo 5.2: Çine HES Kuyruk Suyu Debi Seviye Çizelgesi | 44 |
| Tablo 6.1: Çine Barajı Mevcut İşletme Seviyeleri ve Optimizasyon Sonucu Önerilen İşletme Seviyeleri..... | 69 |
| Tablo 6.2: Çine HES Yıllık Enerji Üretimlerinin Karşılaştırılması..... | 71 |

KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-----------------------|---|
| AGİ | : Akım Gözlem İstasyonu |
| A.Ş. | : Anonim Şirket |
| DE | : Diferansiyel Evrim |
| Diğ. | : Diğerleri |
| DSİ | : Devlet Su İşleri |
| EPIAŞ | : Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi |
| GWh | : Gigawatt saat |
| GB | : Gigabayt |
| GHz | : Gigahertz |
| ha | : Hektar |
| HEPP | : Hydroelectric Power Plant |
| HES | : Hidroelektrik Santral |
| km | : Kilometre |
| km² | : Kilometrekare |
| m | : Metre |
| m³ | : Metreküp |
| mm | : Milimetre |
| MW | : Megawatt |
| MWe | : Megawatt elektriksel |
| hm³ | : Hektometreküp |
| s | : Saniye |
| T.C. | : Türkiye Cumhuriyeti |
| TEİAŞ | : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi |
| TSKB | : Türkiye Sınai Kalkınma Bankası Anonim Şirketi |

SEMBOL LİSTESİ

| | | |
|-------------|---|--|
| ΔS | : | Haznedeki depolama hacminin değişimi |
| μ_d^k | : | Türbin verimi |
| λ | : | Boyutsuz sürtünme katsayısı |
| γ | : | Suyun özgül ağırlığı |
| A_d | : | Başlangıç göl alanı |
| A_{d+1} | : | Dönem sonu göl alanı |
| B_d | : | Dönem sonunda bırakılması gereken hacim |
| $B_{N,d}^*$ | : | Dönem sonunda bırakılan net hacim |
| b_L | : | Değişkene ait alt sınır |
| b_U | : | Değişkene ait üst sınır |
| $^{\circ}C$ | : | Santigrat derece |
| C_d | : | Can suyu miktarı |
| C_r | : | Çaprazlama oranı |
| D | : | Değişken sayısı |
| D_C | : | Cebri boru çapı |
| E_d | : | Buharlaşma miktarı |
| E_{mak} | : | Maksimize edilmiş enerji üretimi |
| $E_{T,d}$ | : | Toplam enerji üretimi |
| $E_{T,d}^k$ | : | Ünite enerji üretimi |
| $E_{T,d}^1$ | : | 1. Üniteye yapılan enerji üretimi |
| $E_{T,d}^2$ | : | 2. Üniteye yapılan enerji üretimi |
| F | : | Ölçekleme faktörü (mutasyon) |
| g | : | Yerçekimi ivmesi |
| g | : | Jenerasyon |
| $H_{a,l}$ | : | Kural eğrisi sonucu her ay için elde edilen işletme kotu |
| H_d | : | Başlangıç su seviyesi |
| H_{d+1} | : | Dönem sonu su seviyesi |
| H_{d+1}^* | : | Dönem sonu için hedeflenen su yüksekliği |
| $h_{LS,d}$ | : | Cebri boruda yaşanan sürekli kayıplar |
| $h_{LY,d}$ | : | Cebri boruda yaşanan yersel kayıplar |
| $H_{net,d}$ | : | Net düşü |
| $H_{ort,d}$ | : | Hazne ortalama su seviyesi |
| I | : | Aylık hazneye giren akım |
| IR_d | : | Sulama miktarı |
| K | : | Yersel kayıp katsayısı |
| L | : | Buharlaşma, sızma gibi hazne su kayıpları |
| L_c | : | Cebri boru uzunluğu |
| Np | : | Popülasyon büyüklüğü |
| O | : | Hazneden çıkan akım miktarı |
| S_d | : | Başlangıç depolama hacmi |
| S_{d+1} | : | Dönem sonu depolama hacmi |
| S_{d+1}^* | : | Dönem sonu hedeflenen depolama hacmi |
| Q_{mak} | : | Maksimum türbin debisi |
| Q_{min} | : | Minimum türbin debisi |

| | | |
|---------------|---|--|
| $Q_{N,d}$ | : | Türbinlenen net debi |
| Q_{opt} | : | Optimum türbin debisi |
| Q_{ts} | : | Tasarım debisi |
| $Q_{T,d}^k$ | : | Tek ünite (türbin) debisi |
| Q_{trb}^1 | : | 1. Ünite aylık türbinlenen debi |
| Q_{trb}^2 | : | 2. Ünite aylık türbinlenen debi |
| t_d^k | : | Her bir ünitenin enerji üretim süresi |
| t_d^1 | : | 1. ünitenin enerji üretim süresi |
| t_d^2 | : | 2. ünitenin enerji üretim süresi |
| $u_{j,i,g}$ | : | Deneme vektörü |
| $V_{a,l}$ | : | Kural eğrisi sonucu her ay işletme kotuna karşılık hazne hacmi |
| V_{DS} | : | Dolu savaktan bırakılan hacim |
| $V_{N,trb}$ | : | Türbinlenen net hacim |
| $V_{N,trb}^k$ | : | Ünite (türbin) hacmi |
| $v_{j,i,g}$ | : | Mutant vektör (ara kromozom) |
| v_d | : | Su hızı |
| $x_{j,i,g}$ | : | Hedef vektör |
| Y_{tw} | : | Dönem sonu kuyruk suyu seviyesi |
| $Y_{tw,d}$ | : | Kuyruk suyu seviyesindeki değişim |
| Z_w | : | Kuyruk suyu taban kotu |

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesine katkıda bulunan, değerli bilgilerini benimle paylaşan ve hayatıma kattığı önemi asla unutmayacağım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Mutlu YAŞAR'a,

Çalışmam boyunca yardımda bulunarak yol gösteren, kıymetli zamanını ayırıp bu aşamaya kadar gelmemi sağlayan İnşaat Yüksek Mühendisi İsmail ARA'ya,

Tez jürimde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Gürhan GÜRARSLAN ve Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL'a,

Lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca buraya kadar gelmemi sağlayan diğer hocalarıma,

Benim bugünlere gelmemde emek sahibi olan, bu hayattaki en büyük şansım olan anneme ve babama teşekkür ederim.

Bu tezi hazırlama sürecinde yardımlarını esirgemeyen ve zor anlarımda bana motivasyon veren en büyük destekçim olan Tunahan CANER'e sonsuz teşekkürler.

1. GİRİŞ

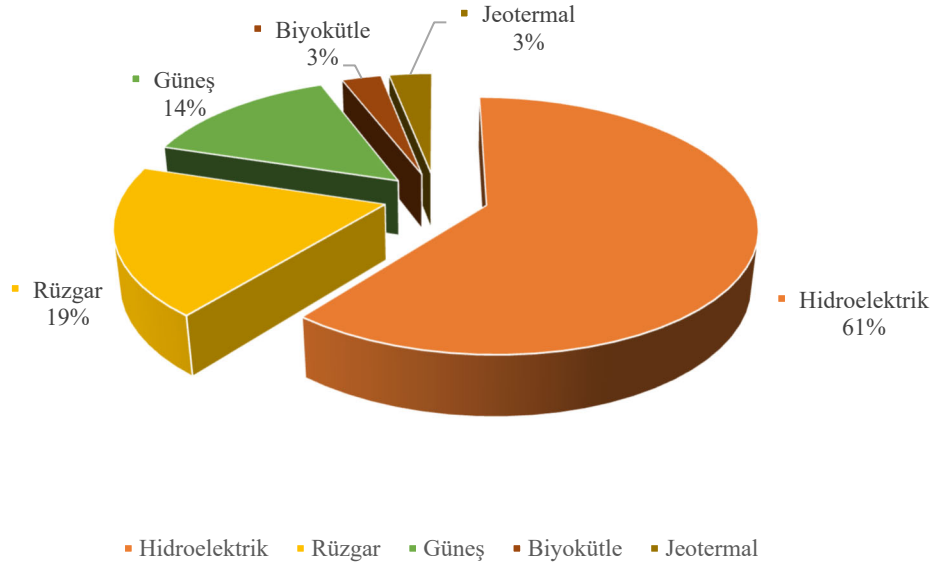
Enerji; günlük yaşamın her anında, gerçekleştirilen her eylemde ve fiziki aksiyonda hayatımızın önemli bir gereksinimi haline gelmiştir. Dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ile bilimsel faaliyetlerin gelişmesi sonucunda enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Yeterli seviyede ve çevresel değerleri tehdit etmeyen enerjiyi sağlamak toplumumuzun en önemli sorumluluğu ve sorunu haline gelmiştir. Enerji kaynağı olarak fosil ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere başlıca iki kaynak vardır. Fosil yakıtların kullanımı sırasında enerjinin nasıl üretildiği ya da çevreye vereceği zarar yeterince göz önünde bulundurulmamaktadır. Ancak yenilenebilir enerji, enerji verimliliğinin sağlanması, yaygınlaştırılması ve çevresel etkileri açısından fosil enerji kaynaklarına göre ön plana çıkmaktadır.

“Enerjide sürdürülebilir bir gelişme rotası oluşturulabilmek için daha düşük karbonlu bir enerji sistemlerinin desteklenmesi gerekmektedir. Her geçen gün dünyadaki birçok ülkede temiz enerjinin yaygınlaşması için yenilenebilir enerjiye ve enerji verimliliğine büyük önem verilmeye başlanmıştır. Yeşil büyümenin en önemli unsurları arasında bulunan yenilenebilir enerji yatırımları ile enerji verimliliği çalışmaları, uzun süredir ülkemizin de gündemindedir. Yenilenebilir enerjide 2000’lerin ortasından itibaren hidroelektrik santraller ile güçlendirilen çalışmalar zamanla diğer santrallerle de zenginlik kazanmış ve ülkemiz son on yılda bu alanda oldukça iyi bir gelişim göstermiştir.” (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, Enerji Görünümü Raporu, 2021).

Türkiye’de ise elektriğin büyük bir kısmı ithal doğal gaz ve yüksek kaliteli kömürden üretilmektedir. Bu nedenle ülkemizin enerjide dışa bağılı olması ekonomik büyümeyi kısıtlamaktadır. Ayrıca, fosil yakıtlar ana yakıt olarak kabul edilmektedir. Sera gazı emisyon kaynaklarıdır, dolayısıyla hava kirliliği, asit yağmurları vb. çevre sorunlarına neden olurlar. Sürdürülebilir kalkınmayı hızlandırmak için yerli ve yenilenebilir kaynaklardan mümkün olduğunca yararlanılması gerekmektedir.

Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. (TSKB)’nin 2021 yılı Enerji Görünümü Raporu’na göre Türkiye’nin ulaşılmış olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarına ait

kurulu güç Şekil 1.1’de grafiksel olarak verilmektedir. Şekil 1.1’den anlaşılacağı üzere Türkiye’de yenilenebilir enerji üretimindeki en yüksek oranı hidroelektrik oluşturmaktadır. Birçok enerji kaynağı içerisinde hidroelektrik enerji santralleri, diğerler santrallere istinaden daha düşük risk taşıdığı için tercih edilmektedir. Hidroelektrik santraller, yenilenebilir enerjiler arasında verimi yüksek, yakıt gideri az, uzun ömürlü ve dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır.



Şekil 1.1: Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Miktarları (MW) (TSKB, 2021)

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere ülkemizdeki hidroelektrik enerji payının yaklaşık %60’tır. Hidroelektrik enerjiyi en verimli şekilde üretebilmek için en iyi işletme politikalarının belirlenmesi gerekmektedir.

“Hidroelektrik santral için hazne sistemi planlanırken sistemin tüm performansının zamanla değiştiği göz önüne alınmalı ve buna göre mevcut su taleplerini karşılamalıdır. Hazne işletme sistemi planlanırken oluşturulacak kütle denge denklemleri ile faydalar en yüksek seviyeye çıkarılmalı, masraflar ise en düşük seviyeye indirilmelidir. Ayrıca değişken su taleplerinin de karşılanması amaçlanmalıdır.” (Rani ve Moreira, 2009).

“Bir hazne sisteminin işletilmesi; hazneye giren ve çıkan akımlar, derivasyonlar, debi, hazne içi ve hazneler arası transferler, sulama için bırakılan sular

ile şehir şebeke suyu ihtiyacı gibi birden çok karmaşık değişkenle ilgili olması nedeniyle oldukça zordur.” (Rani ve Moreira, 2009).

Su, insan hayatının ve canlılığın devam edebilmesi için gereken en önemli doğal kaynakların başında gelmektedir (T.C Kalkınma Bakanlığı, Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas ve Komisyon Raporu, 2018). İnsanların toplu olarak yaşadıkları yerlerde su ihtiyacı genellikle barajlardan karşılanmaktadır. Bir ülkede kişi başına düşen su kullanımı o ülkenin gelişmişlik düzeyiyle doğru orantılıdır. Dünya nüfusunun giderek artmasıyla birlikte suya olan ihtiyaç da artmış ve bu durum su kaynakları üzerinde bir baskı oluşturmuştur.

“Yarı kurak iklim kuşağında bulunan Türkiye, kişi başına düşen yıllık su miktarı bakımından komşularına ve su zengini Kuzey Amerika ve Kuzey Avrupa’ya kıyasla daha az suya sahiptir. Su zengini ülkelerde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 10.000 metreküpün üstündedir. Ülkemizdeki kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı ise 1.350 metreküp civarındadır. 2030 yılında nüfusun 100 milyona ulaşması tahminine göre, Türkiye’de kişi başına düşen su miktarının 1.000 metreküp civarında olacağı öngörülmektedir.” (Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı, Su Politikası, 2021).

Tablo 1.1 ‘de Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. tarafından, 2015 yılı için, ülkemizdeki 25 nehir havzasında bulunan su kaynakları ve insan sayısı baz alınarak hazırlanan Falkenmark Göstergesi yer almaktadır. Falkenmark Göstergesi, bir bölgedeki kişi başına yıllık su kullanılabilirliğinin ölçümüne dayanmaktadır. Bu gösterge mevcut su kaynaklarının, ilgili bölgede yaşayan insan sayısına oranıyla elde edilmektedir. Ülkemizin üç tarafının sularla çevrili olmasına rağmen “su stresli” bir ülke olduğu bilinmektedir (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş.). TSKB’nin Şubat 2019 döneminde hazırladığı “Su: Yeni Elmas” raporuna göre 2015 yılında 1.422 metreküp olarak hesaplanan yıllık kişi başına düşen su miktarı, 2017 yılında 1.386 metreküpe kadar gerilemiştir. 2023 yılında 87 milyon nüfusa sahip olması beklenen Türkiye’nin, 2023 yılındaki su potansiyelinin 1.289 m³/kişi seviyesine ineceği düşünülmektedir. Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli miktarda su aktarması için su mevcut kaynaklarını korunması ve verimli kullanılması önem arz etmektedir.

Tablo 1.1: 2015 Yılı Türkiye Falkenmark Göstergesi (TSKB, 2019)

| Durum | Falkenmark Göstergesi (m ³ /kişi/yıl) | 2015 | |
|--------------------|--|----------------|---------------------------|
| | | Nüfus (milyon) | Toplam Nüfusuna Oranı (%) |
| Su Kıtlığı Var | <500 | 25 | 31,4 |
| | 500-1000 | 14 | 17,4 |
| Su Stresi Var | 1000-1700 | 14 | 18,9 |
| Su Yeterli | >1700 | 25 | 32,21 |
| Sınıflandırma Dışı | | 0,53 | 0,07 |
| Toplam | | 78,53 | 100 |

Barajların artan su talebini karşılayamaması, büyük oranda planlama ve işletme süreçlerindeki başarısızlıklardan kaynaklanmaktadır. Doğru bir planlama ve yönetim stratejisi uygulanması su kaynaklarının verimli ve bilinçli kullanılması için önem arz etmektedir. Günümüzde su kaynaklarının planlaması ve yönetiminde optimizasyon ve simülasyon modelleri sıklıkla tercih edilen yöntemlerdendir.

Bu değerlendirmeler göz önüne alındığında biriktirmeli ve biriktirmesiz hidrolik tesislerin işletilmesinde su tüketimini azaltmak ve enerji üretimini arttırmak gibi etkenler göz önüne alındığında, en iyi hazne işletme çalışmasının araştırılması önem arz etmektedir.

1.1 Tezin Amacı ve Önemi

Sanayi alanında yaşanan gelişmeler ve ülkedeki nüfusun artması, ihtiyaç duyulan enerjinin de artmasına neden olmaktadır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerji ise ortaya çıkan bu enerji ihtiyacının karşılanmasında büyük bir paya sahiptir. Ancak son zamanlarda artan küresel ısınma, hidroelektrik enerji kaynaklarında negatif bir etki yaratmaktadır. Bu olumsuz etkinin azaltılması ancak hidroelektrik enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılması ve işletilmesi ile mümkün olmaktadır. Hidroelektrik enerji üretiminin beraberinde taşkın kontrolü, su temini gibi çok yönlü amaçlar için inşa edilen barajların işletilmesi bu konuda önem taşımaktadır.

Ostadrhimi (2011)'ye göre doğal mevsimsel farklılıklar, hazneye giren akımlarda değişikliğe neden olmaktadır. Bu da hazne işletme kurallarının güncel tutulmasını gerektirir. Su temini ve enerji üretimi için sistemin mevcut performansını artıran, salınan sular için oluşabilecek sapmaları en aza indirgeyen işletme kuralları en uygun kural olarak belirlenir. Bu işletme kurallarının belirlenmesinde mevcut planlayıcıların tecrübeleri ve değerlendirmeleri de modele dahil edilerek rezervuar simülasyon modelleri oluşturulabilir.

(Wurbs,2005) simülasyon yöntemlerinin su kaynaklarının yönetimi ve planlaması için A.B.D. Ordusu Mühendisler Birliği'nin (USACE) Missouri Nehri'nin simülasyonunu yapması ile başlamıştır. Daha sonra ise Nil Havzası'ndaki rezervuarların ekonomik performansları ile ilgili simülasyon çalışmaları yapılmıştır (Emergy ve Meek,1960).

Yapılan çalışmalar, su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanıldığında, enerjide dışa olan bağımlığın azaldığını göstermektedir. Havza ve barajlarda uygun bir modelleme yöntemi kullanılarak işletme çalışmalarının planlanması oldukça önemli ve gereklidir.

Ülkenin hidroelektrik potansiyelinin etkin kullanılması, sürdürülebilir kalkınma açısından önem arz etmektedir. Hazne işletme çalışmaları, verimliliği arttırmada önemli bir role sahiptir. Hazne işletme eğrileri ile hazneye giren akımlar ve haznenin depolama hacmi göz önünde bulundurularak haznedeki bırakılacak suyu belirleyen denklemler elde edilmektedir. İşletme eğrileri, kritik hidrolojik koşulların sıralı analizine bağlı olup en iyi işletme politikaları, mansap su temini ve enerji üretimi konusunda sistemin performansını arttırmaktadır.

“Havza veya hazne işletme çalışmalarını planlayarak birden fazla amaca (sulama, enerji, içme suyu, taşkın koruma vb.) yönelik durumlar için asgari kayıplarla azami faydaları elde etmek mümkündür.” (Çıtakoğlu ve Coşkun, 2020)

“Haznenin yapılış amacında yer alan bazı fonksiyonlar; taşkın koruma, hidroelektrik, sulama ve rekreasyondur.” (Wurbs, 1991)

Wurbs (1991) hazneleri üç tip olarak açıklamıştır:

- Farklı mevsim ve yıllara uzanan, uzun dönemli işletilebilen hidroelektrik santral hazneleri
- Hazne ihtiyaçları doğrultusunda hazneye giren akımların günlük su salımlarına yaklaşık olarak eşit olduğu nehir tipi santraller gibi (eğer hazne aktif hacim içermiyorsa)
- Enerji fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda suyun hazneye pompalandığı, enerji fiyatlarının yüksek olduğu pik zamanlarda üretim yapılan pompaj biriktirmeli santraller

Bu tezde Aydın ilinin Çine ilçesinde bulunan Çine Adnan Menderes Barajı ve HES haznesine özgü geliştirilen işletme çalışmasının planlanmasında, optimizasyon tekniklerinin araştırılması ve ek yatırıma gerek duyulmadan sadece işletme modelinde değişikliğe gidilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda en az su tüketilerek üretilen enerjinin en yüksek seviyeye çıkarılması için sulama ve taşkın kontrolü de dikkate alınmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Heidari (1971), çok amaçlı su kaynakları sistemlerinin işletim politikalarını optimize etmek için bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem ile bellek ve bilgisayar zaman gereksinimleri gibi zorlukları önemli ölçüde azaltmışlardır. Önerilen yaklaşımın faydaları, dört üniteli, iki amaçlı bir su kaynakları sistemine uygulanmasıyla gösterilmiştir.

Howson ve Sancho (1975), hazne işletmesinin optimizasyonu için hesaplama açısından verimli ve minimum depolama gereksinimlerine sahip aşamalı optimizasyon algoritması üretmişlerdir.

Murray ve Yakowitz (1979), birden fazla sıralı hazne işletmelerinin optimizasyonu ile ilgili karar değişkenleri ve ayrıklaştırma şartı bulunmayan yeni bir diferansiyel dinamik programlama metodu geliştirmişlerdir.

Yeh (1985), hazne işletmesi için Doğrusal Programlama, Doğrusal Olmayan Programlama, Dinamik Programlama gibi birden fazla benzetim yöntemi kullanarak kapsamlı bir araştırma yapmıştır. Her modelin tarihsel gelişimi ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve yaptığı incelemeler sonucunda bu dört modelin, hazne işletmesindeki avantajlarına değinmiştir. Literatürde bu yöntemleri kullanacak bilim insanlarının karşılaşacakları zorluklardan da bahsetmiştir.

Simonovic (1992), sistem yaklaşımının hazne yönetimine uygulanması için dört teknik öne sürmüştür. Bu teknikler; benzetim (simülasyon), en iyileme (optimizasyon), çok amaçlı analiz ve önceki tekniklerin kombinasyonlarıdır. Su kaynakları mühendislerinin pratik ihtiyaçlarına cevap veren sistem yaklaşımının hazne için kullanılan basit bir optimizasyon modeli sunmuştur. Ayrıca bir veya birden fazla amaca hizmet eden hazne analizi ile ilgili bilgiye dayalı teknolojinin faydalarını göstermeyi de amaçlamıştır. Bu çalışma ile hazne işletmecisinin bir hazne problemini tanımlaması konusunda, hazne işletme modelini oluşturarak uygun yaklaşımı belirledikten sonra problemi çözmek için en uygun modeli seçmesine katkıda bulunmuştur.

Wurbs (1993), hazne işletmesindeki modelleme yaklaşımının formüle edilmesinde dikkate alınması gereken hususları özetlemiştir. Birden çok hazne işletme analiz modellerini sıralayarak çeşitli karar destek durumlarında hangi yöntemlerin en yararlı olabileceğini daha iyi anlamak için yapılan çalışmalara katkıda bulunmayı hedeflemiştir.

Wardlaw ve Sharif (1999), hazne işletmesi adına dört rezervuarlı, deterministik ve sonlu ufuk problemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Dört rezervuar problemi için en umut verici genetik algoritma yaklaşımının gerçek değer kodlaması, turnuva seçimi, tek biçimli çaprazlama ve değiştirilmiş tek biçimli mutasyon içerdiği sonucuna varmışlardır. Gerçek ve ikili olarak adlandırdıkları değer kodlamalarını karşılaştırmışlar ve gerçek değer kodunun daha hızlı ve iyi sonuçlar verdiğini öne sürmüşlerdir. Bir genetik algoritmanın, stokastik olarak oluşturulmuş gerçek zamanlı işlemlerde tatmin edici bir şekilde kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Sharif ve Robin (2000), çalışmalarında çok hazneli sistemler için bir genetik algoritma yaklaşımı öne sürmüşlerdir. Bu yaklaşım, havzadaki mevcut gelişme durumu ve gelecekteki iki su kaynağı için geliştirme senaryosu dikkate alınarak Endonezya'daki bir rezervuar sistemine uygulama yoluyla gösterilmiştir. Herhangi bir rezervuar sistemine kolayca taşınabilen rezervuar sistemlerinin optimizasyonu için genel bir genetik algoritma modeli geliştirilmişlerdir. Genetik algoritma sonuçları ile Ayrık Diferansiyel Dinamik Programlama tarafından üretilen sonuçların karşılaştırılması da sunulmuştur. Genetik algoritma ile elde edilen sonuçların en iyi seviyeye çok yakın olduğunu tespit etmişleridir. Dinamik programlama ile ilişkili yöntemlerden farklı olarak durum değişkenlerinin ayrı ayrı ifade edilmesine gerek olmadığı sonucuna varmışlardır.

Gradyan tabanlı Doğrusal Olmayan Programlama Yöntemlerinin, belirli hedef ve kısıtlamalar uygulandıktan sonra problemleri çözebildiği görülmüştür (Cai ve diğ., 2001). Gradyan tabanlı algoritmaların, doğrusal olmayan problemlere uygulandığında istenmeyen çözümlere yaklaştığı tespit edilmiştir. Fakat yaklaşmasına rağmen uygulanabilir çözümler elde edilememiştir. Cai ve diğ. (2001), doğrusal olmayan haznelerin işletme problemlerini, genetik algoritma ve doğrusal programlamayı birleştiren bir model ile formüle etmişlerdir. Modeldeki genetik algoritmalar, sınırlı sayıda parametre üzerinde optimizasyon yaparak problemin çeşitli doğrusal

programlama problemlerine bölünmesini sağlamıştır. Yapılan çalışmada, genetik algoritma ve doğrusal programlama yaklaşımı, doğrusal olmayan dinamik bir havza modeli için uygulanmıştır.

Barros ve diğ. (2003), yaptıkları çalışmada 69,375 MW kurulu güce sahip yetmiş beş hidroelektrik santralden oluşan ve ülkenin elektrik enerjisinin %92'sini üreten Brezilya hidroelektrik sisteminin yönetimi ve işletilmesi için SISOPT adını verdikleri bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. SISOPT modeli doğrusal olmayan programlama (NLP) ile formüle edilmiştir. Formüle edilen NLP modelinin, ardışık doğrusal programlama ile de analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonrasında NLP modelinin depolamayı en üst düzeye çıkararak daha fazla enerji üretmesi bakımından son derece uygun bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Labadie (2004), çoklu rezervuar sistem yönetimi optimizasyonunda yüksek boyutlu, dinamik, doğrusal olmayan ve stokastik özelliklere hâkim olmak için tasarlanan optimizasyon yöntemlerini incelemiştir. Yaptığı araştırmalar sonucunda genetik algoritmaların güvenilir simülasyon modellerine doğrudan bağlantılı olmasının pozitif bir etkisi olacağını ve stokastik yöntemlerle elde edilen optimizasyon modellerinin kullanılmasıyla aşılabileceğini açıklamıştır.

Barros ve diğ. (2005), karmaşık hidroelektrik işletim sistemlerini optimize etmek ve karşılaştırmak için altı işlev fonksiyonu belirlemişlerdir. Belirlenen amaç fonksiyonları şu şekilde tanımlanmıştır;

- (FO1) Depolanan enerji kaybının minimize edilmesi,
- (FO2) Depolama sapmalarının hedeften uzaklaşmasının minimize edilmesi;
- (FO3) Toplam enerji üretiminin maksimize edilmesi,
- (FO4) Enerji kayıplarının minimize edilmesi,
- (FO5) Enerji bütünlemesinin minimize edilmesi (alternatif enerji kaynaklarının (termal, nükleer vb.) kullanımının minimize edilmesi)
- (FO6) %5 risk ile uzun dönem ortalama enerji üretiminin üzerindeki üretimlerden maksimum fayda sağlanması.

Çalışmadaki optimizasyon sürecini tamamlamak için, EPUSP ve UCLA araştırmacılarından oluşan bir ekip tarafından geliştirilen SISOPT modelini kullanmışlardır. Modelde daha hassas ve doğru sonuç almak için doğrusal olmayan yöntem kullanmayı tercih etmişlerdir. Araştırma için São Paulo Eyaletinin güneyinde bulunan Paranapanema Sistemi seçilmiştir. Amaç fonksiyonları farklı hidrolojik seriler dikkate alınarak analiz edilmiştir. Her bir fonksiyon için sonuçlar farklı performans göstermiştir. Hidroelektrik enerji verimliliği için en uygun yöntemin enerji talep bütünlemesinin (FO5) minimize edilmesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Özkök (2006), hidroelektrik santrallerin potansiyellerini, Debi Süreklilik Eğrisi Metodu ve Ardışık Akım Öteleme Metodu ile incelemiştir. Araştırma için Çoruh Havzası'nda bulunan Oymapınar Barajı seçilmiştir. İlk olarak Çoruh havzasında bulunan, yirmi yıl boyunca gerçekleşen aylık ortalama akımların ölçüldüğü sekiz adet akım gözlem istasyonunun verileri kullanılarak Debi Süreklilik Eğrisi Metodu ile hesap yapılmıştır. İkinci olarak, Ardışık Akım Öteleme Metodu kullanılarak Oymapınar Barajı'nda 2001-2005 yılları arasında üretilebilecek aylık, yıllık ve ortalama enerji hesapları yapılmıştır. Hesaplar yapılırken DSİ'den temin edilen hazne işletme eğrileri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Oymapınar Barajı'nın son beş yılda gerçekleştirdiği enerji üretiminin, planlanan yıllık enerji üretimine istinaden düşük kaldığı ve bu açığı kapatmak için haznenin daha verimli işletilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Haddad ve diğ. (2008), tekli ve çoklu hazne işletme çalışmalarında üretilen hidroelektrik enerjinin mevcut kurulu güce oranını en yüksek seviyeye çıkarmak için Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu (HBMO) algoritmasını kullanmışlardır. Geliştirilen algoritmanın, tekli hazne işletmesi problemi için literatürde etkili çözümler üreten Gradyan Tabanlı Doğrusal Olmayan Programlama yazılımı olan LINGO 8.0'dan daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Çoklu hazne işletmesi probleminde ise LINGO 8.0 yazılımı ile çözüme ulaşamamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda HBMO algoritması, çoklu rezervuar işletmesi için hedeflenen amaç fonksiyonu, enerji üretimi açısından en iyi işletme politikası olarak belirlenmiştir.

Su kaynakları planlaması ve yönetiminde haznelerin işletme politikasını belirlemek için optimizasyon tekniklerinin uygulanması önemli bir konudur (Hınçal ve diğ., 2011). Genetik Algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel mekanizmalara

benzer mekanizmalar kullanarak çalışan, bilimin çeşitli alanlarında popüler hale gelmiş bir optimizasyon tekniğidir (Hınçal ve diğ., 2011). Hınçal ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada Colorado Nehri Depolama Projesi'ndeki üç haznenin enerji üretimini en yüksek seviyeye çıkarmayı amaçlamışlardır. Sistemde üretilen enerji, geleneksel (konvansiyonel) ve gerçek zamanlı yaklaşım olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılarak optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında geleneksel yaklaşım kullanılarak optimize edilen enerji miktarlarının gerçek zamanlı yaklaşıma göre üretilen enerjiden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çok hazneli sisteme uygulanan Genetik Algoritma modelinin uygunluk fonksiyonları etkin bir şekilde oluşturulduğunda enerji üretimini başarıyla optimize ettiği sonucuna varılmıştır.

Lu ve diğ. (2013), baraj güvenliğini sağlamak ve hidroelektrik üretiminden daha ekonomik faydalar elde etmek için Zhelin rezervuarına ait hazne işletme kurallarını değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, aşamalı optimizasyon algoritması (POA), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve genetik algoritma (GA) olmak üzere üç optimizasyon algoritması uygulanmıştır. Uzun süreli deşarj veri serisine göre, çeşitli fiziksel ve yönetsel kısıtlamalarla birlikte, amaç fonksiyonu olarak su tüketimini en düşük seviyede tutmayı hedeflemişlerdir. Üç yöntemin sonuçları karşılaştırıldıktan sonra, POA'nın inceleme yapılan Zhelin rezervuarı için daha uygun olduğu bulunmuştur.

Boyacıoğlu (2013), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Altıparmak Barajı ve HES için enerji üretimini en yüksek seviyeye çıkarmayı amaçlamıştır. Ay sonu en iyi hazne işletme seviyelerini belirlemek için, Ardışık Akım Ötelemesi yöntemi ile kural eğrisi oluşturulmuştur. Ay sonu hazne seviyeleri karar değişkeni olarak seçildiğinde sonucun optimum çözüme yakınsadığı görülmüştür. Ancak ay sonu hazne seviyelerine karar değişkenleri olarak türbin deşarj ve türbin kurulu güç oranları eklendiğinde problem alanı artmış ve yakınsama sorunu yaşanmıştır. Bu nedenle türbinlenen debi ve türbin kurulu güç oranları için optimum değerler tespit edilememiştir. Optimum türbin deşarj oranı ve türbin kurulu güç oranı ile kural eğrisinin belirlenmesi için üst düzey bir optimizasyon yazılımının kullanılması önerilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda Altıparmak Barajı ve HES için türbin deşarj oranı ve türbin kurulu güç oranı 0,5 seçildiğinde optimum ay sonu işletme

seviyelerine ulaşılmıştır. Bu çalışmada geliştirilen kural eğrisi ile elde edilen toplam enerji üretiminin, Ak (2010) tarafından elde edilen toplam enerji üretimine göre %5,36 oranında arttığı görülmüştür.

Al-Juboori (2014), yaptığı yüksek lisans tezinde Matlab tabanlı Simulink paket programı yardımıyla Adıyaman İli'nde bulunan Koçali Barajı'nın hazne işletme sisteminin benzetim modelini oluşturmuştur. Yıllık üretilen enerji miktarının en yüksek seviyeye çıkarılmasını amaçlamış ve Genetik Algoritma tekniğini kullanarak optimizasyon çalışması yapmıştır. Geliştirdiği modelin performansını doğrusal programlama tekniği ile karşılaştırmıştır. İki farklı modelleme çalışması sonucunda, Koçali Barajı'nın mevcut hazne işletme politikası optimize edildiğinde %12 daha fazla yıllık enerji üretimi yapabileceği sonucuna varmıştır.

Ahmad ve diğ. (2014), yaptıkları çalışmada hazne işletme problemlerini ozmek için geliştirilen halihazırdaki optimizasyon yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Doğrusal, Doğrusal Olmayan ve Dinamik Programlama, Evrimsel Hesaplama, Simülasyon Optimizasyon Tekniği ve çok Amaçlı Optimizasyon yöntemlerini incelemişlerdir. Optimizasyon problemini ozmek için daha az parametre kullanan Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve Yerçekimi Arama Optimizasyonu (GSA) tekniklerini önermişlerdir. Ayrıca araştırmacıların hazne işletme çalışması için kullandıkları modelde ve tasarım hesaplamalarında, gelecekteki iklim değişikliği faktörünü de dikkate almaları gerektiğini belirtmişlerdir.

Ming ve diğ. (2015), Çin'deki Wujiang oklu rezervuar sisteminin işletme problemini ozmek için Guguk Kuşu Arama Algoritmasını (CS) uygulamıştır. Guguk Kuşu Arama Algoritmasının performansı, popüler Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Srs Optimizasyonu (PSO) ile karşılaştırılmış ve CS'den alınan sonuçların optimuma daha yakın olduğu ve yakınsama performansının daha tatmin edici olduğu görülmüştür. Bu nedenle, karmaşık optimizasyon problemlerini ozmek için basit yapısı, yüksek arama verimliliği, sağlamlığı ve iyi yakınsama performansı açısından CS'nin karmaşık rezervuar işletme problemleri için pratik ve önemli bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

zalp (2016), yaptığı yüksek lisans tezinde çalışma alanı olarak Adıgüzel Barajı ve HES için hazne işletme çalışması gerçekleştirmiştir. Haznenin olası kurak ve

sulak sezonları için en iyi işletme seviyesinde tutularak en fazla enerji üretimi gerçekleştirilecek bir hazne işletme politikası belirlemiştir. Ardışık akım ötelemesi hesabı yapıldıktan sonra elde edilen amaç fonksiyonu ile optimizasyon çalışmasına gidilmiştir. Optimizasyon çalışmasında Genetik Algoritmalar yöntemi kullanılmış ve hazne mevcut işletmeciyeye göre daha yüksek seviyelerde işletilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda önerilen işletme eğrisi ile elde edilen enerji üretiminin halihazırda yapılan mevcut işletmeye oranla %14 daha fazla olacağı sonucuna varılmıştır.

Ak (2017), doktora tezi çalışmasında Çoruh Havzasında bulunan Arkun, Yusufeli ve Artvin sıralı hidroelektrik santralleri için çeşitli amaçlar doğrultusunda işletme çalışması gerçekleştirmiştir. Amacı sadece enerji üretmek olan Yusufeli HES için yıllık ortalama enerji üretiminin ve ortalama yıllık gelirin en yüksek seviyeye çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda enerji geliri hedefinin en yüksek seviyeye çıkarılması için piyasadaki saatlik fiyat değişimlerinin dikkate alınması gerektiğini ve buna en uygun kural eğrisinin türetilmesini gerekli bulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde, Arkun, Yusufeli ve Artvin hidroelektrik santrallerinden oluşan çok hazneli sistemi, enerji üretimi, gelir ve net karı en yüksek düzeye çıkarmak için üç amaç altında ayrı ayrı incelemiştir. Son olarak, çok hazneli sistemin belediye ve sulama suyu temini ve taşkın kontrolü gibi ek amaçlar altındaki performansı, varsayımsal senaryolar üzerinden değerlendirilmiştir. Optimizasyon çalışmalarında Dinamik Kural Eğrisi yöntemi, model olarak kullanılmıştır. Böylece en büyük amaç fonksiyonu değerleri RCDdynamic ile elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, bir hidroelektrik sisteminin entegre yönetiminin özellikle kurulu kapasitelerin belirlenmesinde çok önemli olduğu ortaya konulmuştur. Doğru amaçlar için elde edilen optimum kural eğrileri ile su kaynaklarının etkin kullanımının sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Saplıoğlu ve diğ. (2017), çalışmalarında Köprüçay nehri üzerindeki 63 yıl boyunca ölçüm yapan Beşkonak akım gözlem istasyonundan elde edilen aylık ortalama akım verileri ile işletme çalışması yapmışlardır. Çalışmada öncelikle Rippl, Eklenik Farklar ve Minimum Akımlar yöntemleri modellenmiş olup daha sonrasında Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyonu da modellenmiştir. Haznelerin çalışma verimlerini sırasıyla %67, %75 ve %90 belirlemişlerdir. Hazne depo kapasiteleri ile en düşük %20 kapasite seçilerek işletme çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucu

YAK kullanılarak elde edilen optimizasyon yönteminin en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Prasanchum ve Kangrang (2018), yaptıkları çalışmada Kuzey Tayland'da bulunan Lampao Havzası üzerinde optimum havza kural eğrisine erişmek için havza simülasyonu modeline Genetik Algoritma uygulamıştır. Gelecekte havzaya girecek suyun değerlendirmesi SWAT hidrolojik modeli kullanılarak havza kaynağı olan Upper-Lampao üzerinde incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; Genetik Algoritmaya bağlı simülasyon modeli tarafından geliştirilen yeni kural eğrileri, aşırı su salımı ve su kıtlığı durumlarını sınırlayabilmiştir.

Feng ve diğ. (2018), hazne işletmesi çalışmalarında kısıtlı optimizasyon problemlerini çözmek için Paralel Çok Amaçlı Genetik Algoritma (PMOGA) geliştirmişlerdir. Önerilen yöntemde, orijinal boyutlu sürü, birkaç hesaplama biriminde eşzamanlı olarak geliştirilecek olan küçük alt popülasyonlara ayrıştırılmış ve bu şekilde yürütme verimliliği ile popülasyon çeşitliliği etkin bir şekilde artırılmıştır. Çin'in Wu hidroelektrik sisteminde test edilen sonuçlar, elektrik üretiminin standart sapması ile su açığında sırasıyla %69,23 ve %27,44 iyileştirme yapabildiğini göstermiştir. PMOGA yönteminin, enerji üretimi ve ekolojik koruma gereklilikleri ile hidroelektrik sistem işletme planları oluşturmak için etkin sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır.

Ara (2018), yüksek lisans tezinde Adıgüzel ve Cindere sıralı barajları için enerji üretimini en yüksek seviyeye çıkarmak için taşkın kontrolü, içme suyu ve sulama miktarlarını da dikkate alarak işletme kural eğrileri geliştirmiştir. Yeni işletme eğrilerini oluşturmak için Ardışık Akım Öteleme metodu ve Guguk Kuşu algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen işletme eğrileri ile iki barajın toplam elektrik üretimi miktarında %14 oranında bir artış sağlanmıştır.

Ehteram ve diğ. (2019), yaptıkları çalışmada enerji üretimini en verimli şekilde gerçekleştirmek amacıyla çok hazneli sistemler için hazne işletme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada yeni bir metasezgisel yöntem olan Karga Arama Algoritması (CA) önerilmiştir. Önerilen optimizasyon algoritmasının performansını incelemek için Çin'de bulunan sıralı hazne sistemleri seçilmiştir. Diğer metasezgisel yöntemler ile karşılaştırıldığında önerilen CA, optimal çözümü aramak için gereken

süreyi kısaltmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda önerilen CA'nın, baraj ve rezervuar operasyonları ile ilgili karmaşık optimizasyon problemlerini, optimal çözüme ulaştırmada yüksek bir performansa sahip olduğu görülmüştür.

Doğan (2019), yaptığı doktora tez çalışmasında Hibrit Lineer Programlama (LP) ve Lineer Olmayan Programlama (NLP) modeli ile solar enerjinin yaygınlaşması ve değişken iklim koşullarının hidroelektrik üretimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Hibrit lineer ve lineer olmayan modeller ile tüm hidroelektrik gelirin en yüksek seviyeye çıkarılması amaçlanmıştır. LP modeli hızlı ama daha doğru olduğunu, NLP modelinin ise yavaş ama daha iyi lineer olmayan gösterime sahip olduğunu görmüştür. Sıralı optimizasyonlarda, model öncelikle problemi lineer tahminle çözmüş, daha sonra LP çözümleri ile tekrar adımını ve çalışma süresini düşürmek için NLP modeli başlatılmıştır. Çalışmanın bir diğer bölümünde ise iklim değişikliğinin, uzun dönem (2015'ten 2100'e kadar) hidroelektrik planlaması üzerindeki etkisi LP ve NLP modelleri ile değerlendirilmiştir. Dönem aralığı arttıkça NLP modelinin çalışma süresinin ise arttığı gözlemlenmiştir. İklim değişikliği ile sıcaklığın artması, kar erime zamanının erkene kayması gibi değişikliklerin bahar ve yaz öncesi üretimi hidroelektrik santraller için azalttığını, barajlar için ise kış aylarında üretimi arttırdığını gözlemlemiştir. Yapılan çalışmalar sonucu değişen koşullar doğrultusunda hazne işletmesine esneklik ve uyum yeteneği kazandırılmıştır. Ayrıca depolama kapasitesi olmayan tesislerin iklim değişikliğinden doğrudan etkilendiği görülmüştür.

Yurtal (2019), yaptığı çalışmada çok amaçlı bir barajın diğer amaçlarını kısıt olarak kabul etmiş ve hidroelektrik üretimini maksimize eden en iyi işletme politikalarının belirlenmesini sağlamıştır. Genetik Algoritma ile Çok Amaçlı Barajların yıllık toplam enerji üretiminin maksimizasyonu için matlab program kodu geliştirmiş ve Seyhan Havzası'ndaki Karakuz Barajı ve HES haznesine uygulamıştır. Uygulama ile yıllık toplam enerji maksimize edilerek en iyi işletme politikaları belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu Karakuz Barajı ve HES için yaklaşık %1'lik enerji artışı sağlandığı gözlemlenmiştir.

Saadatpour ve diğ. (2020), rezervuar su temini ile çıkış suyunun kalitesini ve hidroelektrik enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak için Vekil Tabanlı Çok Amaçlı Optimizasyon Tekniğini (SBMOOT) kullanmışlardır. Su temini, hidroelektrik enerjisi ve su kalitesi hedeflerine odaklanan çalışma kuralları, polinom regresyon tekniği

kullanılarak tahmin edilmektedir. Hedeflenen amaçlara karşılık türetilen işletme kurallarının performans kriterleri, İran'ın güneybatısında bulunan Karkheh Rezervuarındaki tarihsel işletme stratejisi ile karşılaştırılmıştır. Enerji üretimini en yüksek seviyeye çıkarma ve mansap su talebi açığının minimum olması amaçları doğrultusunda yapılan optimizasyon çalışması sonuçlarının, Karkheh Rezervuarı mevcut işletme senaryosuna göre daha uygun sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çıtakoğlu ve Coşkun (2020), yaptıkları çalışmada Zamantı Irmağı Havzasında DSİ uhdesindeki Kayseri Pınarbaşı Bahçelik Barajı ve üniteleri için Water Evaluation And Planning System (WEAP) programını kullanarak benzetim modelini oluşturmuşlardır. WEAP programı ile baraja ait ünitelere birtakım öncelikler ve kısıtlar verilmiştir. Daha sonra kabul edilen işletme kuralları için analizler yapılmıştır. Birinci öncelik olarak sulama ihtiyaçlarının karşılanması seçildiğinde enerji üretiminin 16,60 GWh/yıl'a düşmekte olduğu ve sistemde 10,60 hm³ su açığı olduğu tespit edilmiştir. Birinci öncelik olarak barajın maksimum kapasitede işletildiği ve enerji üretiminin, sulamadan daha önemli olduğu işletme çalışmasında ise enerji üretiminin 26,40 GWh/yıl ve sistemdeki su açığının ise 6,60 hm³ olduğu tespit edilmiştir. Sulama ve enerji üretimi arasındaki bağıntının, taleplerdeki öncelik sıralamasına göre bir denge içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan işletme çalışmalarında en iyi sonucu ikinci kabul vermiştir. Baraj rezervuar hacminin işletme dönemi boyunca maksimum hacimde kaldığı, sistemde su açığı oluşmasının tamamen engellenemediği ancak sulama ünitelerinin taleplerinin karşılandığı görülmüştür.

Chong ve diğ. (2021), gerçekleştirdikleri çalışmada, hazne işletimi için bir optimizasyon yöntemi olan parametresiz bir Jaya algoritmasını incelemiştirlerdir. Önerilen Jaya Algoritması, hidroelektrik enerji üretimi için Genetik Algoritma (GA), Karınca Kolonisi Algoritması (ACO), Yarasa Algoritması (BA), Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) gibi algoritmalarından daha etkin sonuç göstermiştir. Ancak Jaya algoritması, diğer algoritmalara göre daha iyi çözüm elde etme açısından üstünlük gösterse bile PSO gibi hızlı yakınsama algoritması ile karşılaştırıldığında yakınsama hızında hala eksiklik olduğu görülmüştür.

Özcan (2021), yaptığı yüksek lisans tez çalışması kapsamında, Ankara su temin sistemi üzerinde farklı senaryolar deneyerek, kaynakların farklı koşullarda su talebini nasıl karşılayacağını araştırmıştır. Senaryolar, üç farklı modelleme yöntemiyle

modellendikten sonra sistem için en uygun işletme modeli araştırılmıştır. Simülasyon modellemesi için MODSIM programı, dinamik programlama yapmak için CSUDP yazılım programı ve doğrusal olmayan programlama için GAMS paket programını tercih etmiştir. Ankara su temin sistemi için, üç modelleme yöntemiyle modellenen beş farklı senaryonun sonuçları karşılaştırıldığında, CSUDP programı ile yapılan dinamik programlama modelinin diğer modelleme yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiği sonucuna varmıştır.

3. HAZNE İŞLETMESİ

Dünyada yıl boyunca düzenli akıma sahip çok az sayıda akarsu bulunmaktadır. Ülkemizin bulunduğu coğrafyada yüzey akışları genellikle yaz aylarında çok düşük, kış ve bahar aylarında ise çok yüksektir. Buna paralel olarak yılın farklı zaman dilimlerinde suya duyduğumuz ihtiyaç da değişim göstermektedir. Yaz aylarında, akarsu akımları en düşük seviyelerdeyken, suya olan ihtiyaç en yüksek değerdedir. Bu nedenle, akımların düzenlenmesi gerekmektedir. Bu da genellikle akarsular üzerine biriktirme yapıları inşa edilmesiyle mümkün olmaktadır.

Hazneler; taşkın kontrolü, içme ve sulama suyu temini ile hidroelektrik enerji üretimi gibi farklı ihtiyaçlar için suyu depolamaktadır. Hazneler aynı zamanda suyu depolamak ve serbest bırakmak için bir dizi kural veya yönergeye göre işletilmektedir. Farklı zaman dilimlerinde, talepler doğrultusunda hazneden bırakılması veya haznede depolanması gereken su miktarları, hazne için yapılan işletme çalışmaları ile düzenlenmektedir.

Hazne işletmesi birden fazla değişkeni barındırdığı için (giren ve çıkan akımlar, derivasyonlar, debiler, hazne içi ve hazneler arası devir, sulama, endüstriyel ve/veya şehir şebeke suyu ihtiyacı) oldukça karmaşıktır. Hazne işletme çalışmaları 1960'ların başından itibaren dünya çapında ivme kazanmıştır. Bu çalışmalar ile su kaynaklarının yönetimi planlanmış ve değişken talepler doğrultusunda optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Günümüzde yaşanan iklim krizi, kuraklık ve kişi başına düşen enerji ihtiyacının artması göz önüne alındığında hazneler için geliştirilen işletme çalışmaları büyük önem kazanmıştır.

Mevsimlerde yaşanan doğal farklılıklar ve iklim değişikliği sebebiyle hazne giriş akımının değişkenlik göstermesi, hazne işletme çalışmalarının güncel tutulmasını mecburi kılmaktadır. (Ostadrhimi ve diğ. 2011).

Yıllar içerisinde, sulak ve kurak periyotlarda akarsulardaki ortalama debiler büyük farklılıklar gösterdiğinden dolayı bu dönemlerde değişen su taleplerinin en iyi şekilde karşılanması gerekmektedir. Bu nedenle suyun bereketli olduğu dönemden kıt olduğu döneme aktarılana kadar depolanması gerekmektedir. İşletme çalışmalarında ilk olarak hazneye giren akımın özellikleri, hazne depolama kapasitesi, hazneden

bırakılacak su miktarı ve hazne sistemi için yapılan işlemlerin güvenilirliği arasındaki ilişki belirlenmelidir. Bu çalışmalar kapsamında hazne işletme politikaları belirlenerek gerekli ihtiyaçların karşılanması öngörülmektedir.

Sonuç olarak, özellikle Türkiye gibi ülkelerde kurak ve yarı kurak bölgelerdeki su kaynaklarının verimli kullanımı ile su ve enerji kıtlığının azaltılması için hazne işletme çalışmaları son derece önemli hale gelmiştir.

3.1 Ardışık Akım Ötelemesi

Ardışık akım öteleme metodu, hazne işletme çalışmalarının ilk aşamasıdır. Bu yöntem, biriktirmeli hazne sistemlerini değerlendirmek için geliştirilmiş olup aşağıdaki süreklilik denklemi ile ifade edilmektedir.

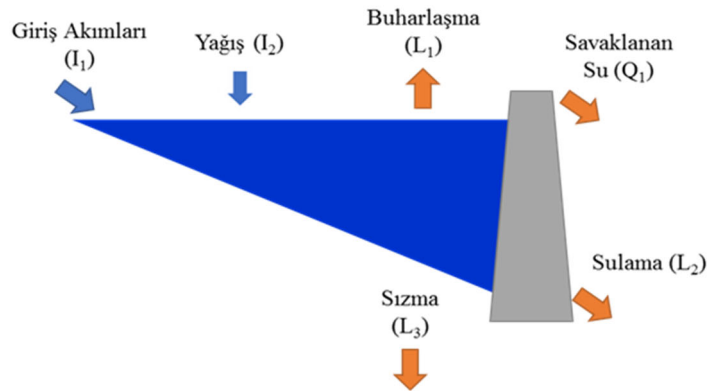
$$\Delta S = I - O - L \quad (3.1)$$

ΔS : Haznedeki biriktirme hacmi değişimi (m^3)

I : Hazneye giren akım miktarı (m^3)

O : Hazneden çıkan akım miktarı (m^3)

L : Kayıplar (m^3) (buharlaştırma, sızma, vs.)



Şekil 3.1: Ardışık Akım Öteleme Yöntemi Şematik Gösterimi

Bu denklem, sürekli bir işletme kaydı elde etmek için çalışılan dönemdeki her bir zaman dilimine ardışık olarak uygulanmaktadır. Bu metot ile mevcut verilerin ve

çalışmanın türüne bağlı olarak saatlik, günlük, haftalık ve aylık zaman dilimlerine göre hazne depolama hacminde yaşanan değişiklikler elde edilebilmektedir. Ardışık akım öteleme metodunun kullanılabilmesi için; haznenin kot-alan-hacim grafiği, su seviyeleri ya da hacimleri, hazneye giren ve çıkan akımlar ile haznede oluşan kayıpların (buharlaşıma, sızma, vs.) ve mansap anahtar eğrisi bilinmesi gerekmektedir. Ardışık akım öteleme metoduyla istenilen zaman dönemine yönelik elde edilen istatistiksel veriler, üretim tahminlerinde de kullanılabilir.

Bu metodun üstün özellikleri; düşünün akımdan bağımsız olarak değiştiği projelerde kullanılabilmesi ve hidroelektrik veya diğer amaçlı projeler için haznelerin modellenmesinde kullanılabilmesidir. Metodun zayıf özelliği ise uzun zaman periyotlarında günlük çalışmalar yapmak için çok fazla hesaplama ve zaman gerektirmesidir. Bu nedenle bu metod uygulanırken genellikle haftalık veya aylık zaman dilimleri seçilmelidir. (US Army Corps of Engineers, 1985).

3.2 Hazne İşletme Kural Eğrisi

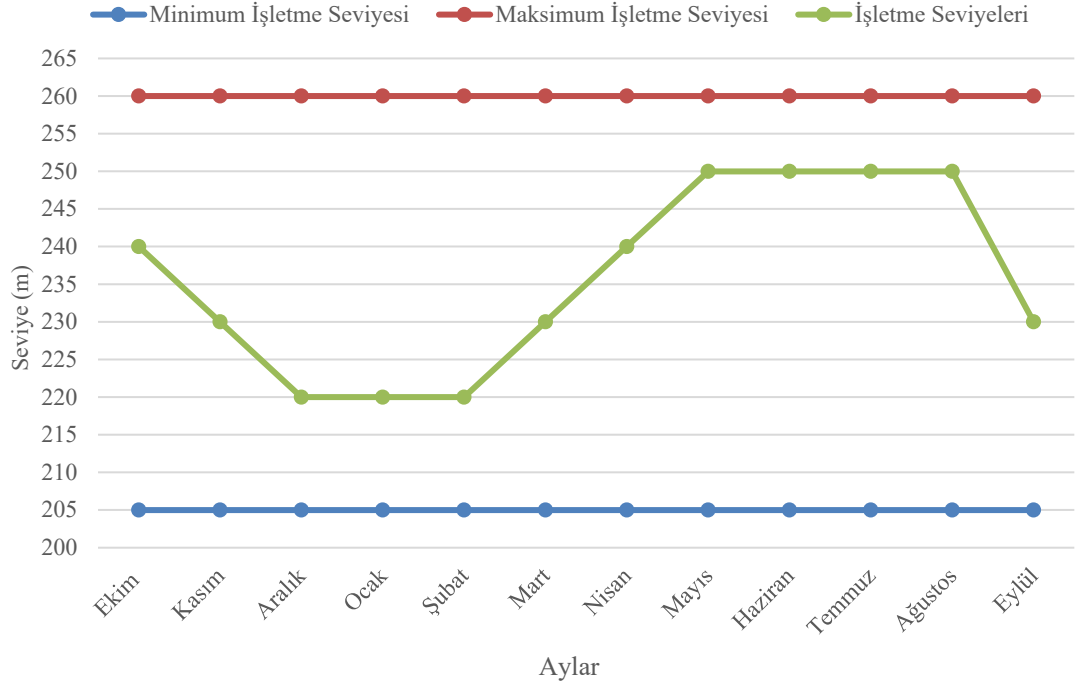
Kural eğrileri, önceden belirlenmiş sonuçları elde etmek için bir rezervuarın belirli koşullar altında nasıl işletileceğini gösteren bir eğri veya eğriler ailesi olarak tanımlanmaktadır. Hazne işletmesi için oluşturulan kural eğrileri, genellikle kritik hidrolojik koşullar ile değişken taleplerin ayrıntılı ve sıralı analizine bağlıdır.

Haznelerin uzun dönemde işletilebilmesi için bazı temel kurallar vardır.

Bunlar;

- Hazneye Giren Akımlar,
- Haznedeki Çıkan Akımlar,
- Su Kayıpları,
- Depolama Kapasiteleri

vb. değişkenler hesaba katılarak belirlenmektedir. Yapılan çalışmalar ile dönemsel olarak en uygun hazne işletme seviyelerini belirleyen ve haznenin uzun dönemde işletme planlamasını yapan hazne işletme kural eğrisi oluşturulmaktadır. Örnek bir kural eğrisi Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Hazne İşletme Kural Eğrisi

Bir kural eğrisi, haznedeki dönem sonunda hedeflenen depolama (veya yükseklik) değerlerinin kümesi olarak tanımlanabilir (Labadie, 2004). Hazne işletmesi için oluşturulan kural eğrileri, uzun vadeli hazne işletme çalışmasında rehberlik etmektedir (Kangrang & Lokham, 2013). Eğriler, yüksek zaman güvenilirliği olan ve en az kritik hatayı üreten ayları elde ederek işletmeciye yol göstermek için geliştirilmiştir (Jain, Goel ve Agarwal, 1998). Bu nedenle oluşturulan potansiyel işletme politikalarından birine kolayca karar verilebilir.

4. ÇALIŞMA SAHASININ TANITILMASI

Hazne işletme çalışmalarında, proje alanı için belirlenen kısıtlar göz önüne alınarak işletme politikaları geliştirilmektedir. Geliştirilen işletme politikaları sayesinde haznenin muhtemel kurak ve sulak dönemlerde hangi su seviyesinde bekletilmesi gerektiği belirlenir. En iyi işletme politikasını tespit etmek için yapılan bu çalışma kapsamında Aydın İl'inin Çine İlçesi'nde bulunan Çine Adnan Menderes Barajı ve HES örnek çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanının konumu Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Çalışma Alanının Türkiye ve Aydın İl'indeki Konumu

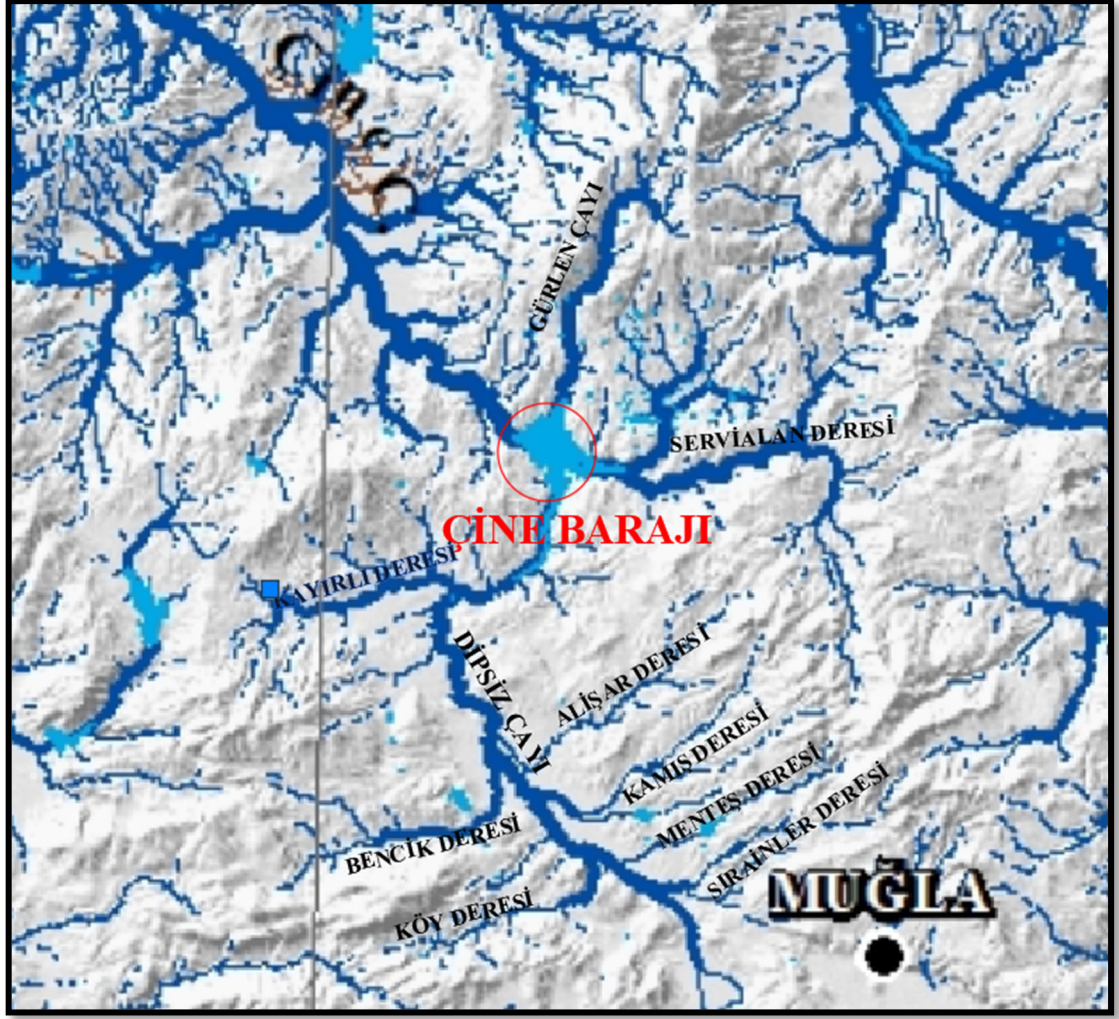
Çine Adnan Menderes Barajı ve HES, Aydın iline bağlı Çine İlçesinin 16 km güneydoğusunda Çine Çayı üzerinde yer almaktadır. Çine Adnan Menderes Barajı ve HES 145,00 m talveg kotunda işletilmektedir. N20-a1, N20-a2, M20-d3 ve M20-d4 No'lu 1/25.000 ölçekli haritalarda, baraj gövdesi 599677.70 Doğu, 4150336.84 Kuzey koordinatlarında, santral binası ise 598252.08 Doğu, 4151920.38 Kuzey koordinatlarında yer almaktadır.



Şekil 4.2: Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Çine Çayı Üzerindeki Konumu

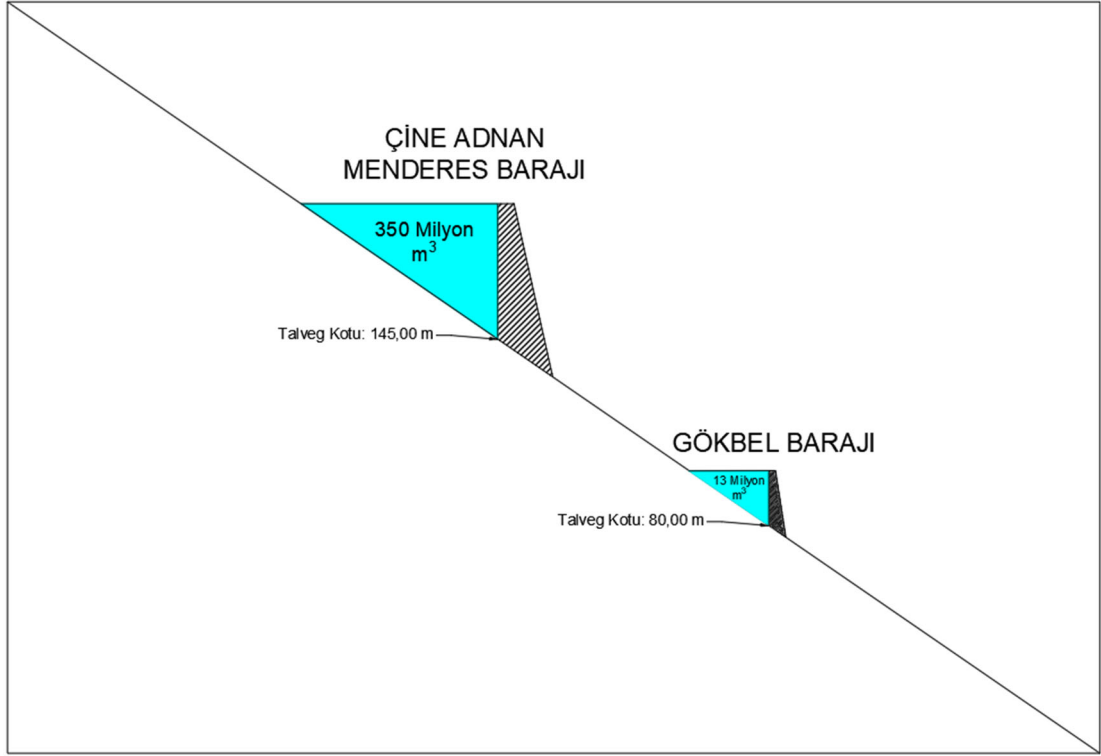
Çine Adnan Menderes Barajı ve HES, Çine Çay'ını kullanarak sulama, taşkın koruma ve elektrik üretimi amacı ile 2010'da su tutmaya, 2014'te ise enerji üretmeye başlamıştır. Barajın talveg kotundan yüksekliği 120 metre olup silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) tipinde bir barajdır. Gövde hacmi ise 1.410.000 m³'tür. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Gövde kategorisinde Avrupa'nın en yüksek barajı unvanına sahip olan Barajın inşa edilmesiyle toplamda 22.358 hektar tarım arazisinin sulanması ve yaklaşık 9.100 hektar arazinin taşkından korunması sağlanmaktadır. Minimum işletme seviyesinin 205,00 m olduğu haznede maksimum işletme seviyesi 260,00 m'dir. Barajın normal su kotunda göl hacmi 350,00 hm³, normal su kotunda göl alanı 9,46 km²'dir. Santral, enerji üretimi %95,44 verime sahip dikey eksenli Francis türbinden oluşan 2 ayrı üniteye toplam 44,650 MW kurulu güce ve yıllık 118 GWh enerji üretebilecek kapasiteye sahiptir (Çine Adnan Menderes Barajı ve HES [online]).

Çine Adnan Menderes Barajı ve HES'in yer aldığı Büyük Menderes Havzası'nın ana sulama kaynağı, 584 km uzunluğundaki Büyük Menderes Nehri'dir. Nehir, bölgenin çeşitli dağlarından çıkan kaynaklardan beslenerek Sarayköy'ün batısından Aydın il sınırına girerek bu doğrultusunda akışına devam eder. Kuyucak yakınlarında olan Dandalas Çayı'nı, kuzeyden Horsunlu, Feslek, Ortakçı derelerinin akımlarını da alarak Kemer Barajı'nın kurulu olduğu Akçay (157 km) ile birleşir. Batıda Çine Çayı'nın akımlarını da alan nehir, Aydın Dağları'ndan inen çeşitli derelerden (Tabakhane, Yalkı, Ilıca, Morali) beslenerek, Söke'nin doğusunda güneye



Şekil 4.4: Çine Adnan Menderes Barajı Akarsular Haritası

Bu tez kapsamındaki Çine Adnan Menderes Barajı'nın da bulunduğu Çine Çayı üzerindeki barajlara ait boy kesit Şekil 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.5: Çine Çayı üzerindeki barajlar

4.1 Çalışma Alanı Coğrafi Özellikleri

Çine Adnan Menderes Barajı ve HES, Aydın ili Çine ilçesi sınırları içerisinde olan Çine Çayı üzerinde, Aydın ilinin yaklaşık 97 km güneyinde yer almaktadır. Aydın; kuzeyde İzmir, kuzeydoğuda Manisa, doğuda Denizli ve güneyde Muğla illeri ile çevrilidir ve aynı zamanda Ege Denizi'ne kıyısı olan illerendir.

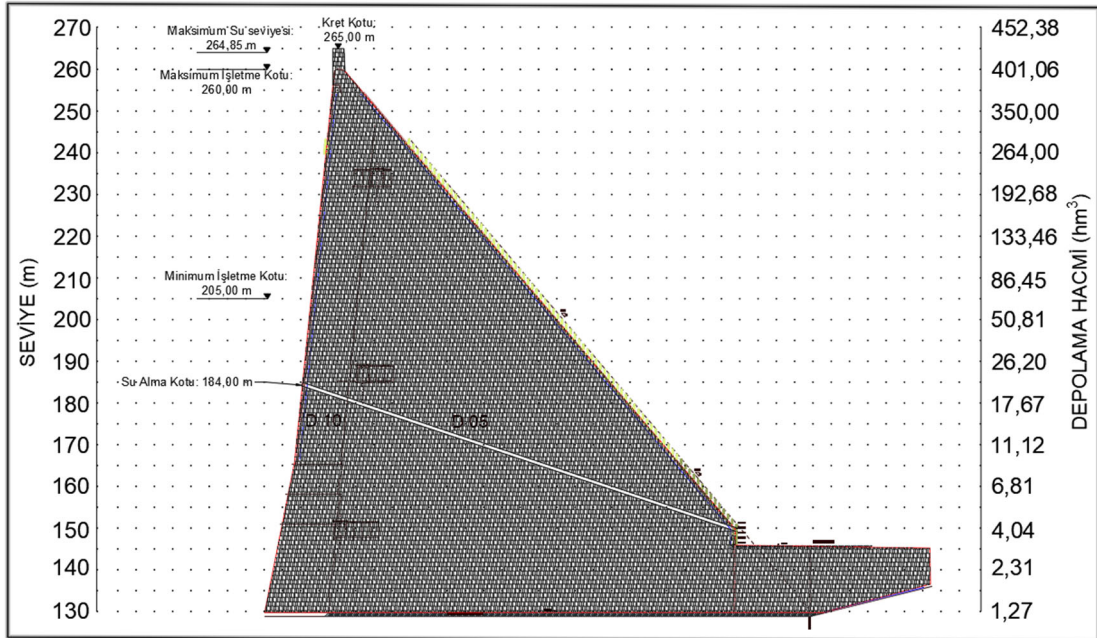
Türkiye Cumhuriyeti'nin Ege Bölgesi'nde yer alan Aydın ili, Büyük Menderes Havzası üzerinde 8.007 km² yüzölçümüne sahiptir. Proje alanı 1/25.000 ölçekli N20-a1, N20-a2, M20-d3 ve M20-d4 No'lu haritalarda yer almaktadır. N20-a2 ve M20-d3 No'lu 1/25000'lik haritalar üzerinde baraj gövdesi 599677.70 Doğu, 4150336.84 Kuzey koordinatlarında, santral binası ise 598252.08 Doğu, 4151920.38 Kuzey koordinatlarında yer almaktadır.

Aydın ilinin kuzey ve güney kesimi engebeli olup iki yandan faylarla sınırlanmış ve daha sonra alüvyonlarla örtülmüş genç bir çöküntü alanı olan Büyük Menderes Ovası bulunmaktadır. Kuzeyde Aydın Dağları, güneyde ise Menteşe Dağları

ile çevrili olan ilde irili ufaklı birden fazla akarsu mevcuttur. Büyük Menderes Nehri ise, Ege Bölgesi'nin en uzun akarsuyu unvanına sahiptir.

Çine ilçesi ise, Büyük Menderes Havzası'nın güneyinde, ırmağın yan kolu olan Çine çayının suladığı yeşil alanlara bakan Madran dağının güneybatı eteklerinde kurulmuştur. İlçeye adını veren, vadinin içinden akan Çine çayı, günümüzde Çine Barajı içinde kalmış bulunmaktadır.

Çine Çayı üzerinde bulunan ve talveg kotundan yüksekliği 120 metre olan Çine Adnan Menderes Barajı'nın şematik gövde kesiti Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi Baraj haznesi 260,00 metre maksimum işletme kotu ile 205,00 m minimum işletme kotu aralığında işletilmektedir.



Şekil 4.6: Çine Adnan Menderes Barajı Şematik Gövde Kesiti

4.2 İklim ve Su Kaynakları

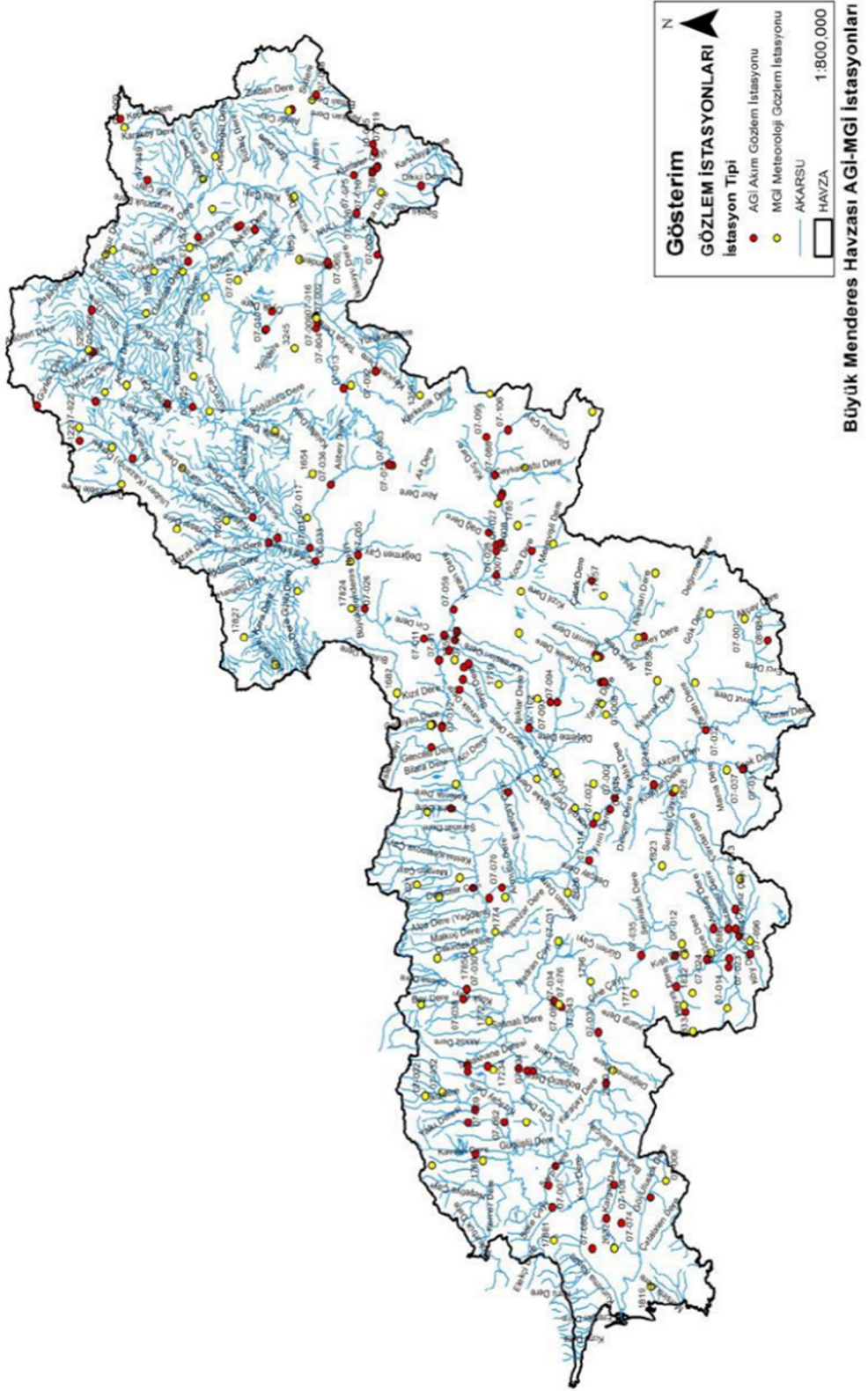
4.2.1 İklim

Aydın İl'inin Çine İlçesinde bulunan çalışma sahasında, Ege Denizi'nin etkisi sebebiyle genellikle Akdeniz'e özgün iklim özellikleri görülmektedir. Bu nedenle yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Büyük Menderes vadisinin, denize doğru açılan bir oluk biçiminde olması nedeniyle, denizin ılıman etkisi ve yağış getiren rüzgarlar iç kısımlara kolaylıkla girmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre Aydın'ın hakim rüzgâr yönü Doğu, mevsimsel değişimlere bağlı olarak ikincil derece hakim rüzgâr yönü Batı-Kuzeybatıdır. Aydın İl'inin ortalama sıcaklık değeri 17,6 °C'dir. Günümüze kadar günlük en yüksek sıcaklık değeri 44,6 °C ve günlük en düşük sıcaklık değeri -11,0° C olarak ölçülmüştür (Meteoroloji 2. Bölge Müdürlüğü [online]).

4.2.2 Meteoroloji

Çine Adnan Menderes Barajı'nın yer aldığı Büyük Menderes Havzası'nda bulunan meteoroloji istasyonlarını ve akım gözlem istasyonlarını gösteren harita Şekil 4.7'de verilmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, Büyük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı, 2019).

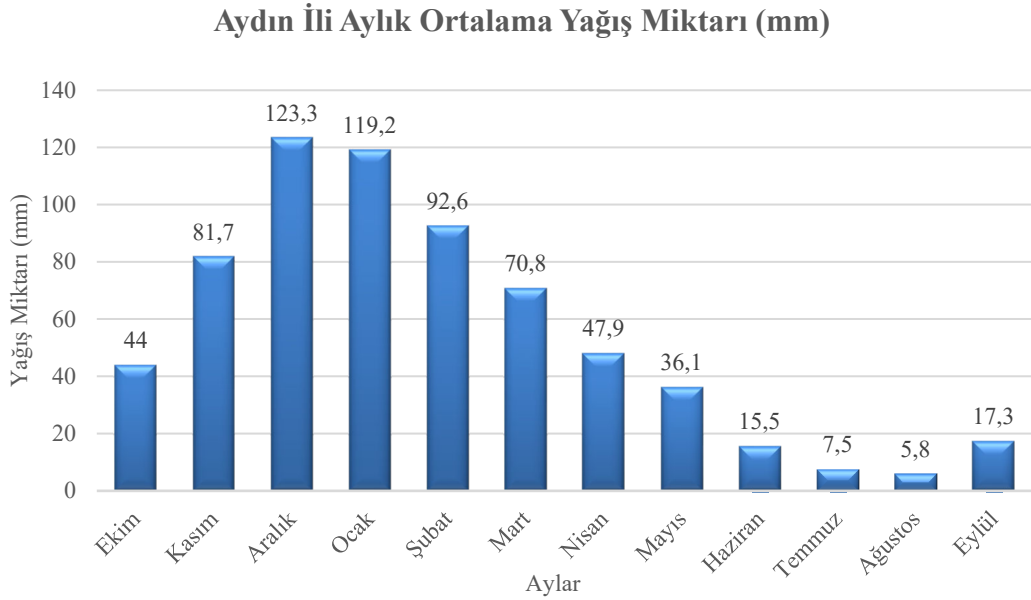
Proje alanı yakınlarında, Çine (18023), Çine/Kavşit Ekip Orman Sahası (18024), Çine/Bahçearası Köyü (18809), Çine/Hacıpaşalar Köyü (18811) meteoroloji istasyonları mevcuttur. Çine Adnan Menderes HES için hazne işletme çalışması yapılırken yararlanılan yağış ve buharlaşma değerleri, hazneye giren ve çıkan akım değerlerinin hesaplanmasında büyük önem arz etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında analizlerde kullanılan akım değerleri, hazne işletmecisi olan firma tarafından düzenli olarak ölçülmektedir. Yağış miktarları da hazneye giren akımların içerisine dahil edilmiştir. Bu nedenle yapılan işletme çalışmasında ayrıca bir yağış verisi kullanılmamıştır.



Şekil 4.7: Çalışma alanı akım gözlem ve meteoroloji istasyonu haritası (Tarım ve Orman Bakanlığı, Büyük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı, 2019)

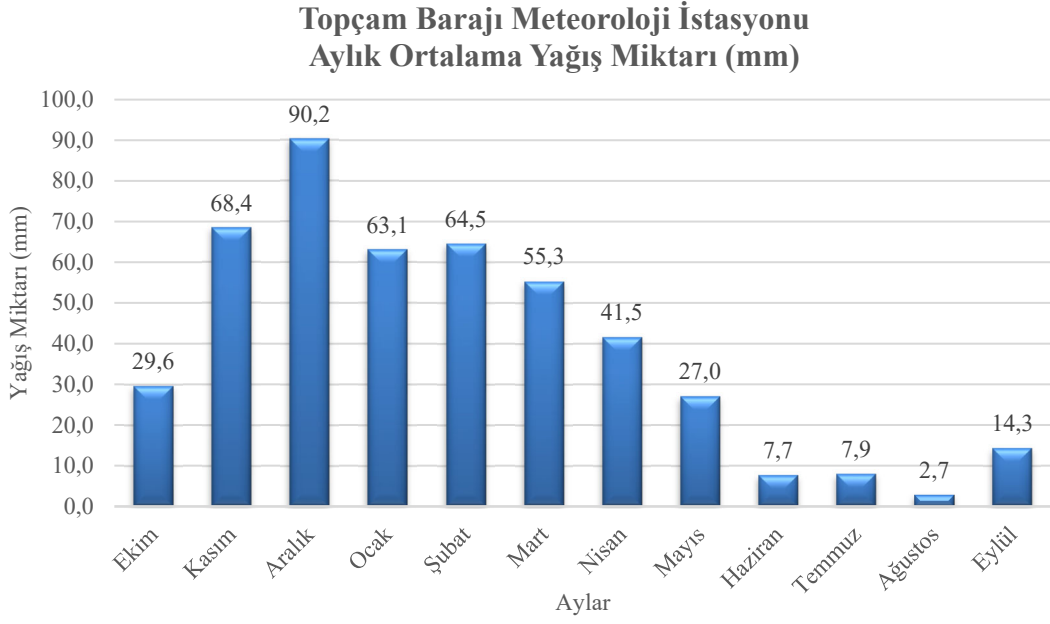
Meteoroloji verilerine göre kış aylarını yağışlı geçiren Aydın ili, 1941- 2021 yılları arasında ölçülen yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 81,58'dir. Şehirde görülen yıllık toplam yağış miktarı ortalaması ise 661,7 mm'dir. Aydın İl'inde en çok yağış aralık ayında düşmektedir. Yağışın en az görüldüğü ayların ise temmuz ve ağustos ayları olduğu bilinmektedir. Aydın İl'inde bir günde ölçülen maksimum yağış miktarı 01.04.2008 tarihinde ölçülmüş olup 93,8 mm'dir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [online]).

Aydın İl'inin aylık toplam yağış miktarlarının ortalaması 5,8 ile 123,3 mm arasında değişim göstermektedir. Aydın İl'ine ait aylık yağış miktarı ortalamaları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Aydın İli aylık yağış miktarı ortalamaları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [online]).

Bu tez kapsamında, çalışma sahasına daha yakın olduğu gerekçesiyle DSİ'nin Topçam Barajı Meteoroloji İstasyonu'nun verileri dikkate alınmıştır. Bu istasyon 1986-2012 yılları arası ölçüm yapmış olup aylık yağış miktarı ortalamaları Şekil 4.10'da verilmiştir.

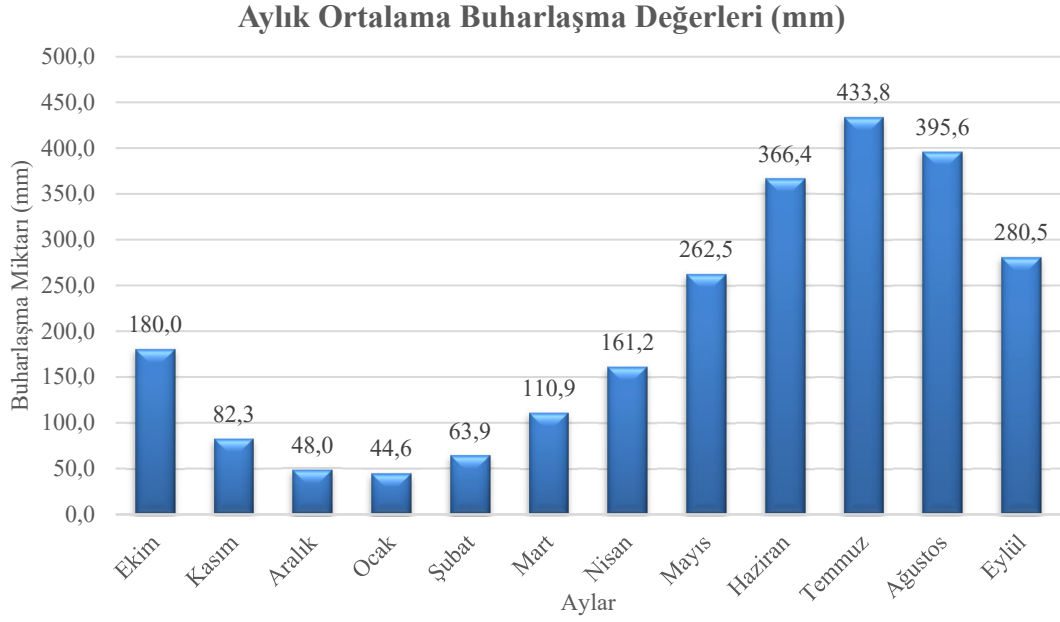


Şekil 4.10: Topçam Barajı Meteoroloji İstasyonu Aylık Yağış Miktarı Ortalamaları (DSİ)

4.2.4 Buharlaşma

Bu tez çalışması kapsamında, Aydın İli, Çine İlçesi, 37° 41' K - 28° 00' D koordinatlarında yer alan Topçam Barajı Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılmıştır. 1986-2012 yılları arasında ölçülen buharlaşma değerlerinin aylık ortalamaları Şekil 4.11'de verilmiştir. Ölçümler DSİ 21. Bölge Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çine Adnan Menderes rezervuarındaki aylık net buharlaşma miktarı hesaplanırken meteoroloji istasyonuna ait buharlaşma değerleri, milimetre biriminden hektometreküpe çevrilerek hazne işletmesi hesaplarında kullanılmıştır. Buharlaşma hesabında haznenin aylık göl alanı büyüklüğü de dikkate alınmıştır.

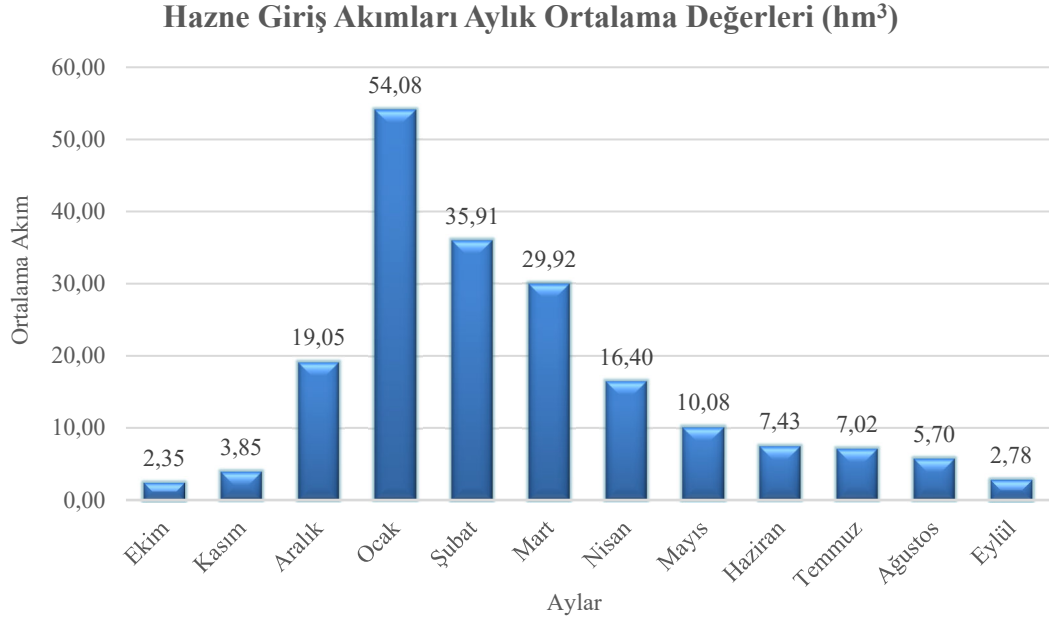


Şekil 4.11: Topçam Barajı Meteoroloji İstasyonu Aylık Ortalama Buharlaşma Değerleri (DSİ)

4.2.5 Su Temini

Çine Adnan Menderes Barajı'nın ana su kaynağı olan Çine Çayı, Bencik ve Kamış dereleri ile Bozüyük Köyü yakınlarında bulunan Pınarbaşı kaynak sularının birleşmesiyle oluşur. Daha sonra bünyesine Sağnan, Gökçay ve Madran derelerini de katarak Çiftlikburnu civarında Büyük Menderes Nehri'ne karışır. (Büyük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı, 2019)

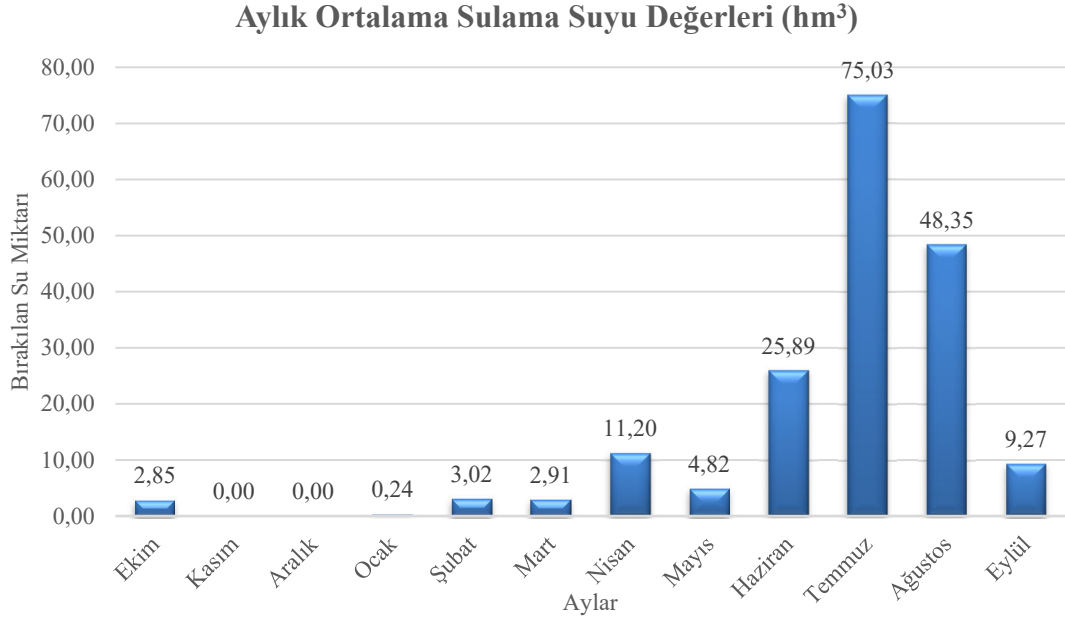
Çine Adnan Menderes Baraj haznesinin işletme çalışmasında, Çine HES işletmesi tarafından tutulan yıllık işletme kayıtlarının verilerinden yararlanılmıştır. Çine Adnan Menderes Barajı göl alanına giren akımlar Haziran 2014 döneminden itibaren günlük olarak ölçülmüş ve aylık işletme tabloları biçiminde özetlenerek işletme dönemi süresince göl alanına giren akımlar tespit edilmiştir. 2014-2022 yılları arasındaki 91 ayın akım verileri kullanılarak Çine Adnan Menderes Barajı hazne işletme çalışması yapılmıştır. Bu tez kapsamında aylık hazne işletmesi yapılırken DSİ'den temin edilen aylık hazneye giren akım verileri kullanılmıştır. Çine Barajı'na ait aylık hazne giriş akımlarının ortalama değerleri Şekil 4.12'de sunulmuştur.



Şekil 4.12: Çine Adnan Menderes Barajı hazne giriş akımları aylık ortalama değerleri (hm³)

4.2.6 Sulama

Çine Adnan Menderes Barajı ve Hidroelektrik Santrali; sulama, taşkın kontrolü ve enerji üretimi amaçları doğrultusunda işletilmektedir. Çine Adnan Menderes Barajı toplam 350 hm³ depolama hacmine sahiptir. Aynı zamanda 22.358 hektarlık alanın sulama ihtiyacını da karşılamaktadır. Çine Adnan Menderes Barajı'nda genellikle nisan ve ekim ayları arasında sulama için su bırakılmaktadır. Gerçekleştirilen hazne işletme çalışmasında, barajda gerçekleşen sulama değerleri de dikkate alınarak hazne işletilmiştir. Çine Adnan Menderes Barajı'na ait sulama suyu miktarlarının hesabında Çine HES İşletmesi tarafından kaydedilen işletme tablolarından yararlanılmıştır. Çine HES'in 91 aylık işletme dönemi süresince sulama için bırakılan aylık ortalama sulama suyu miktarları Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13: Çine Adnan Menderes Barajı aylık ortalama sulama suyu değerleri (hm³)

4.3 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES

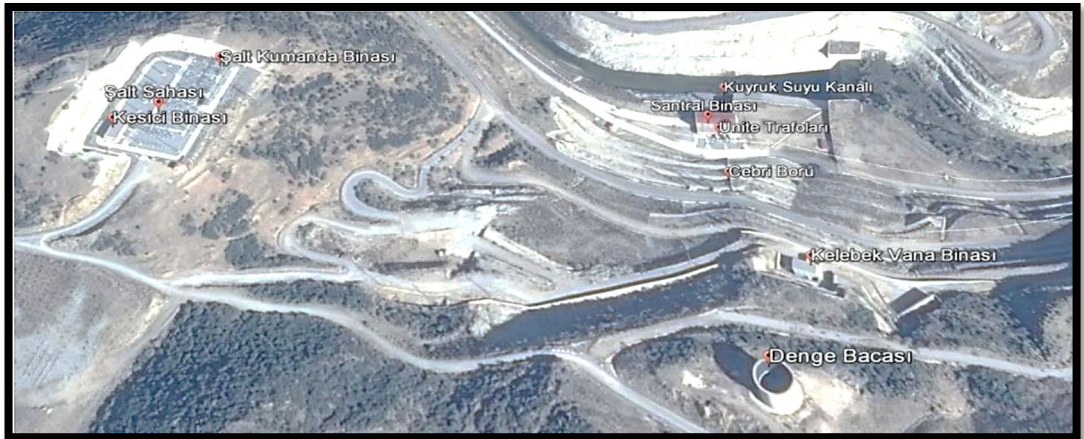
Çine Adnan Menderes Barajı ve Hidroelektrik Santrali; sulama, taşkın koruma ve enerji üretimi olmak üzere üç amaç kapsamında inşa edilmiştir. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Gövde kategorisinde Avrupa'nın en yüksek barajı unvanına sahip olan barajın inşaatına 1995 yılında başlanmış ve baraj 10.10.2010 tarihinde işletmeye açılmıştır. Çine Hidroelektrik Santrali ise baraj gövdesinin yaklaşık 2,5 km mansabında sol sahilde yer almaktadır. Çine HES, 06.06.2014 tarihinde 44,65 MW (2 x 22,325) gücündeki türbinlerle faaliyete geçmiş olup Türkiye'nin 121. Aydın'ın ise 9. büyük enerji santralidir. Çine Adnan Menderes Barajı'na ait genel görünüm Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14: Çine Adnan Menderes Barajı Genel Görünümü

4.3.1 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Karakteristik Özellikleri

Çine Adnan Menderes Barajı, $12,07 \text{ m}^3$ ortalama debi ve $40.318,16 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ortalama akım ile işletilmektedir. Çine Baraj gölünden alınan su, ızgaralardan geçerek su alma yapısı ile enerji tüneline alınmaktadır. Enerji tünelinin nihayetinde, çelik boru ile devam edilmekte ve daha sonra denge bacasına bağlanılmaktadır. Su, ünite cebri borularının sonunda bulunan kelebek vanalardan sonra türbin salyangozlarına ulaşmaktadır.



Şekil 4.15: Çine HES Konumu ve Yerleşimi

Çine Adnan Menderes Barajı ve Hidroelektrik Santrali'nin karakteristik özellikleri Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Çine Adnan Menderes ve HES'e ait karakteristik özellikler

| Çine Adnan Menderes Barajı ve Hidroelektrik Santrali | |
|---|---|
| 1/25.000'lik Harita Adları | : N20-a1, N20-a2, M20-d3, M20-d4 |
| UTM 6° Koordinatları | : 599 677 D, 4 150 336 K |
| İli / İlçesi | : Aydın/ Çine |
| Havza Adı | : Büyük Menderes Havzası (07) |
| DSİ Bölgesi | : 21. Bölge |
| Akarsu Adı | : Çine Çayı |
| Amacı | : Sulama + Taşkın Koruma + Enerji |
| Baraj Gövdesi ve Göl Alanı | |
| Tipi | : Silindirele Sıkıştırılmış Beton (Ssb) |
| Kret Kotu | : 265,00 m. |
| Talveg Kotu | : 145,00 m. |
| Barajın Talvegden Yüksekliği | : 120,00 m. |
| Yağış Alanı | : 1418 km ² |
| Yıllık Ortalama Tabii Akım (43 Yıllık) | : 413,05x106 m ³ |
| Yatağan Termik Santralinden sonraki akımı | : 380,36x106 m ³ /Yıl |
| Ortalama Debi | : 12,07 m ³ /sn |
| Min. İşletme Seviyesi | : 205,00 m |
| Maks. İşletme Seviyesi (N.S.S) | : 260,00 m |
| Maks. Su Seviyesi (Kadastrofal Taşkımda) | : 264,85 m |
| Ölü Hacim | : 12x106 m ³ |
| Minimum Aktif Hacim | : 226x106 m ³ |
| Maksimum Aktif Hacim | : 313x106 m ³ |
| Minimum İşletme Seviyesinde Göl Alanı | : 2,50 km ² |
| Maksimum İşletme Seviyesinde Göl Alanı | : 9,34 km ² |
| Yıllık Sulama Alanı | : 22.358 ha |

Cebri Boru Genel Özellikleri

| | |
|-------------------|-------------------------------|
| Başlangıç Noktası | : Enerji Tüneli km 2+665,75 |
| Tipi | : Tünele gömülü çelik kaplama |
| Kapasitesi | : 35,00 m ³ /sn |
| İç Çapı | : 3,20 m |
| Sayısı | : 1 Adet (2 Branşmanlı) |
| Uzunluğu | : 1 Adet, 291,62 m |
| Branşman Çapı | : 2,25 m |
| Branşman Uzunluğu | : 2 adet 17,50 m |

Türbin Özellikleri

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Türbin Tipi | : Dikey Eksenli Francis |
| Güç | : 22,325 MW |
| Türbin Adedi | : 2 |
| Türbin Proje Düşüsü | : 129 m |
| Minimum Net Düşü | : 97,3 m |
| Maksimum Net Düşü | : 147,6 m |
| Proje Debisi | : 35 m ³ /s |
| Kurulu Güç | : 44,65 MW |
| Yıllık Enerji Üretimi | :118 GWh |

4.3.2 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES İşletme Dönemi

1995 yılında inşasına başlanan Çine Adnan Menderes Barajı, 6 Haziran 2014 tarihinde Kemer HES İşletme Müdürlüğü tarafından devir alınarak elektrik üretimine başlamıştır. Elektrik Üretim Anonim Şirketi'ne ait olan Çine HES'in, Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından yapılan özelleştirme ihalesi sonucunda, 22.04.2019 tarihinde İşhes Enerji A.Ş. firmasına devredilmiştir. Santral günde 1.071.600 kWh elektrik enerjisi üretebilme kapasitesine sahiptir. Çine HES'in yıllık üretimi 118.000.000 kWh'tır. Üretim miktarları, hazneye giren akımların durumuna göre değişiklik göstermektedir.

Çine Adnan Menderes HES'e ait cebri boruda 29.10.2015 tarihinde yırtılma meydana gelmiş ve arızanın giderilmesi için DSİ çalışmalarına başlamıştır. 30.06.2016

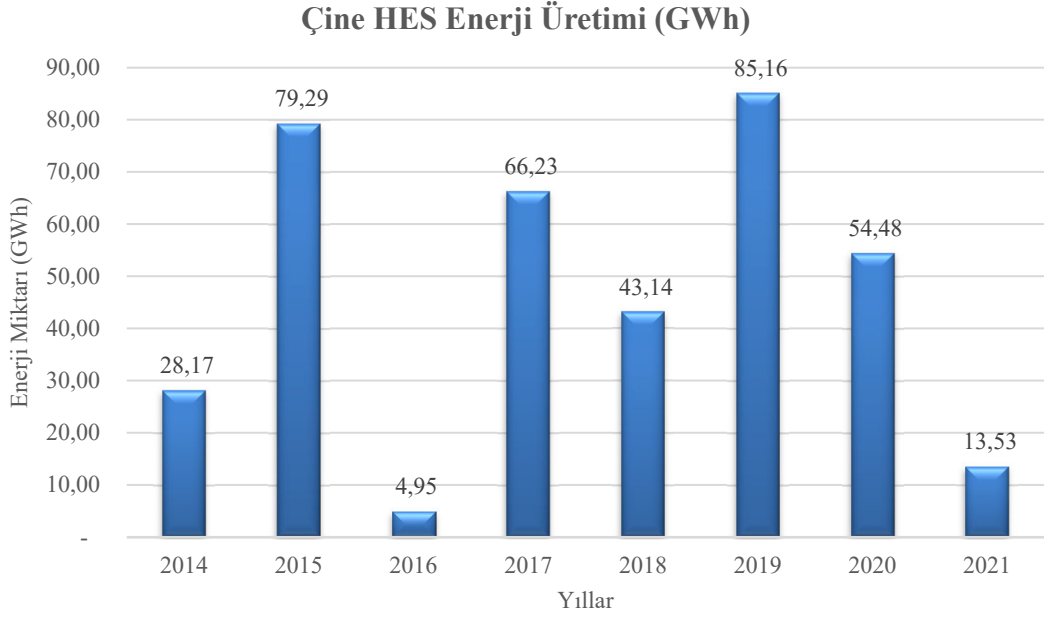
tarihinde cebri borudaki arıza giderilmiştir. Bu süreçte enerji tünelinin boşaltılması sebebiyle santral 8 ay çalışmamıştır.

Baraj, sulama amaçlı olarak DSI'nin su talepleri doğrultusunda çalışmaktadır. Üretimi etkileyen faktörler içerisinde, DSI'nin sulama programına göre, farklı su talepleri sebebi ile zaman zaman en iyi randıman eğrisi dışında çalışılmayı zorunlu kılması sonucu su sarfiyatının artması da yer almaktadır.

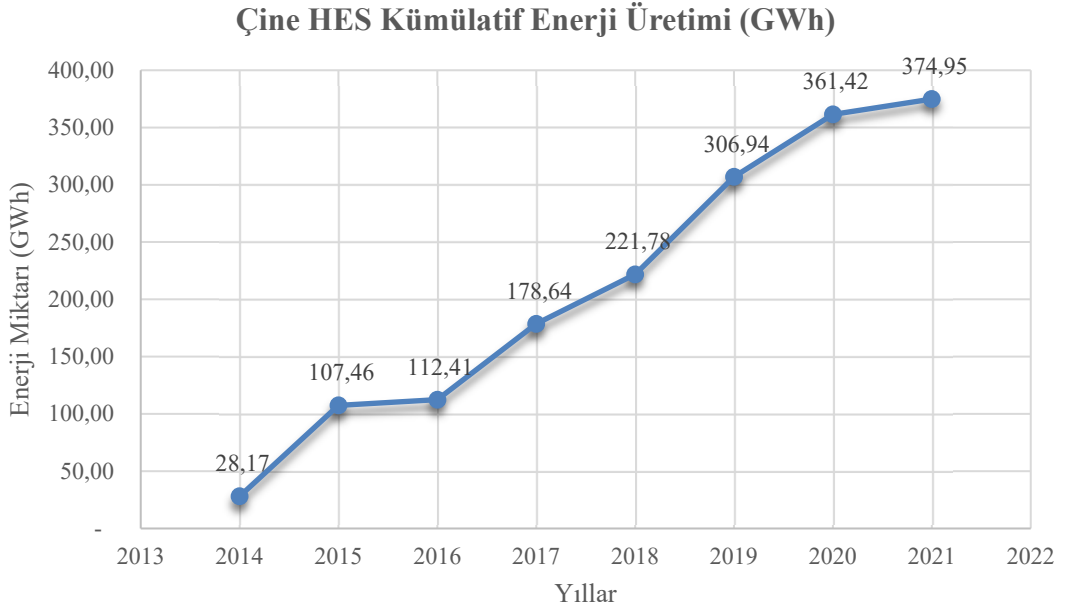


Şekil 4.16: Çine Adnan Menderes Baraj Gövdesi

Çine Adnan Menderes Barajı ve HES'in 2014-2022 yılları arasında gerçekleştirdiği enerji üretimi miktarları Şekil 4.17'de ve kümülatif enerji üretim miktarları ise Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.17: Çine Adnan Menderes HES İşletme Dönemi Yıllık Enerji Üretimleri



Şekil 4.18: Çine Adnan Menderes HES Kümülatif Enerji Üretimleri

Çine Adnan Menderes HES Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'den görüleceği üzere 9 yıldır işletmede olup enerji üretimi gerçekleştirmektedir. Bu dönemlerde yıllık ortalama 46,87 GWh enerji üretimi yaparak 9 yıllık işletme dönemi boyunca toplam 375 GWh enerji üretimi gerçekleştirmiştir.

5. YÖNTEM VE METODOLOJİ

5.1 Ardışık Akım Öteleme Metodu Yardımıyla Hazne İşletme Kural Eğrisinin Geliştirilmesinde Kullanılacak Veriler

Hazne işletme politikaları için hedefler ve kısıtlar belirlenirken hazneye dönemlik olarak giren akımlara bağlı haznede depolanması gereken veya hazneden bırakılması gereken su miktarları hesaplanır. İşletme politikalarında öncelikli olarak haznedeki mevcut suyun verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle en iyi hazne işletme politikasının belirlenmesi gerekmektedir. Her haznenin farklı talepleri, sınırlamaları ve gereksinimleri olmaktadır. Bu nedenle yapılan hazne işletme çalışmaları sadece o hazneye özgüdür.

Ardışık akım öteleme metodu, hazne işletme kural eğrilerinin oluşturulmasında uygulanan ilk adımdır. Ardışık akım öteleme metodu ile yapılan hesaplamalarda Bölüm 4'te açıklanan hidrolojik verilerden yararlanılmıştır. Söz konusu kural eğrileri geliştirilirken aynı zamanda haznenin kot-alan-hacim değerleri, kuyruk suyu anahtar eğrisi ve türbin verim eğrisi denklemleri gibi veriler de kullanılmaktadır. Hazne işletme kural eğrileri oluşturulurken kullanılacak veriler aşağıda açıklanmaktadır.

Bu tez, Çine Adnan Menderes Barajı ve HES için hazne işletme çalışması yardımı ile işletme kural eğrisinin geliştirilmesi amaçlamıştır. Çine Adnan Menderes Barajı'nın 2014-2022 yılları arasındaki işletme dönemi boyunca yaptığı 8 yıllık enerji üretimini, en yüksek seviyeye çıkaracak en iyi hazne işletme politikası belirlenmeye çalışılmıştır. Çine Barajı'nın yapılma amacı olan sulama, taşkın kontrolü gibi diğer tüm kısıtlar dikkate alınmış ve bu doğrultuda yeni bir işletme kural eğrisi geliştirilmiştir. Hazne işletme çalışmasında ardışık akım ötelemesi yöntemi kullanılmıştır. En iyi işletme kural eğrisi belirlenirken sezgisel optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmalar yapılırken uygulanan işlem adımları aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

5.1.1 Hazne Kot-Alan-Hacim Değerleri

Kot-alan-hacim eğrileri, su seviyesine bağlı olarak göl alanındaki ve hacmindeki değişimlere ilişkin verileri elde etmemizi sağlar. Bu eğriler, haznelerin yıllık işletme çalışmalarının yapılmasında oldukça önemli bir paya sahiptir (Güreşçi ve diğ 2012). Baraj haznesinin depolama kapasitesini, bölgenin sahip olduğu topoğrafya doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle haznelerin kot-alan-hacim grafikleri bulunduğu bölgenin topografyasına göre değişmektedir. İlgili haznenin kot-alan-hacim eğrisinin bilinmesi hazne işletme çalışmaları için önem teşkil etmektedir.

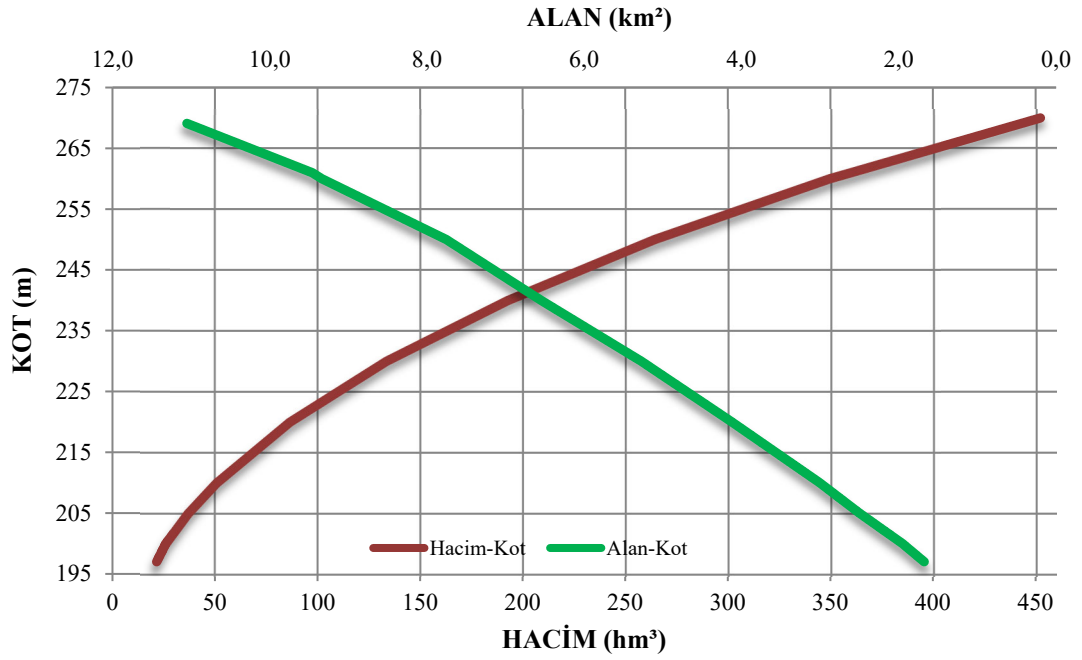
5.1.1.1 Çine Adnan Menderes Barajı Kot-Alan-Hacim Verileri

Çine Adnan Menderes Barajı ayrıntılı kot-alan-hacim verileri, Çine HES Hazne İşletmecisinden temin edilmiştir. Hazne işletme çalışmasında kot-alan-hacim verileri kullanılarak enterpolasyon yöntemi yardımıyla haznenin değişken su seviyelerine karşılık gelen gölalanı ve hacim değerleri tespit edilmiştir. Çine Barajı kot-alan-hacim değerleri özet olarak Tablo 5.1’de sunulmuştur.

Tablo 5.1: Çine Barajı Kot-Alan-Hacim Değerleri

| Kot (m) | Alan (km²) | Hacim (hm³) |
|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 200 | 1,95 | 26,02 |
| 205 | 2,50 | 37,00 |
| 210 | 3,01 | 50,81 |
| 215 | 3,56 | 68,63 |
| 220 | 4,12 | 86,45 |
| 225 | 4,70 | 109,96 |
| 230 | 5,28 | 133,46 |
| 235 | 5,91 | 163,07 |
| 240 | 6,55 | 192,68 |
| 245 | 7,15 | 228,39 |
| 250 | 7,75 | 264,10 |
| 255 | 8,55 | 306,82 |
| 260 | 9,34 | 349,55 |

Yukarıdaki veriler yardımı ile çizilen Çine Barajı Kot-Alan-Hacim Grafiği de Şekil 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.1: Çine Barajı Kot-Alan-Hacim Grafiği

5.1.2 Kuyruk Suyu Kanalı Su Seviyeleri Hesabı

Hidroelektrik santrallerde enerji hesabına esas olan net düşü, suyun alındığı hazne su seviyesi ile santralden kuyruk suyu kanalına tahliye edilen su seviyesi arasındaki düşey mesafeden iletim kanallarında ortaya çıkan kayıpların çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple kuyruk suyu kanalındaki suyun yüksekliği, enerji üretimini doğrudan etkilemektedir.

Çine HES kuyruk suyu kanalına ilişkin taban kotu, eğimi, minimum ve maksimum türbin debileri gibi fiziksel karakteristikler temel alınarak değişken su seviyelerine karşılık kuyruk suyunda oluşan kabarma yükseklikleri tespit edilmiştir. Elde edilen kabarma yüksekliklerine, kuyruk suyu taban kotu ilave edilerek her bir debiyeye karşılık gelen kuyruk suyu seviyesi belirlenmiştir.

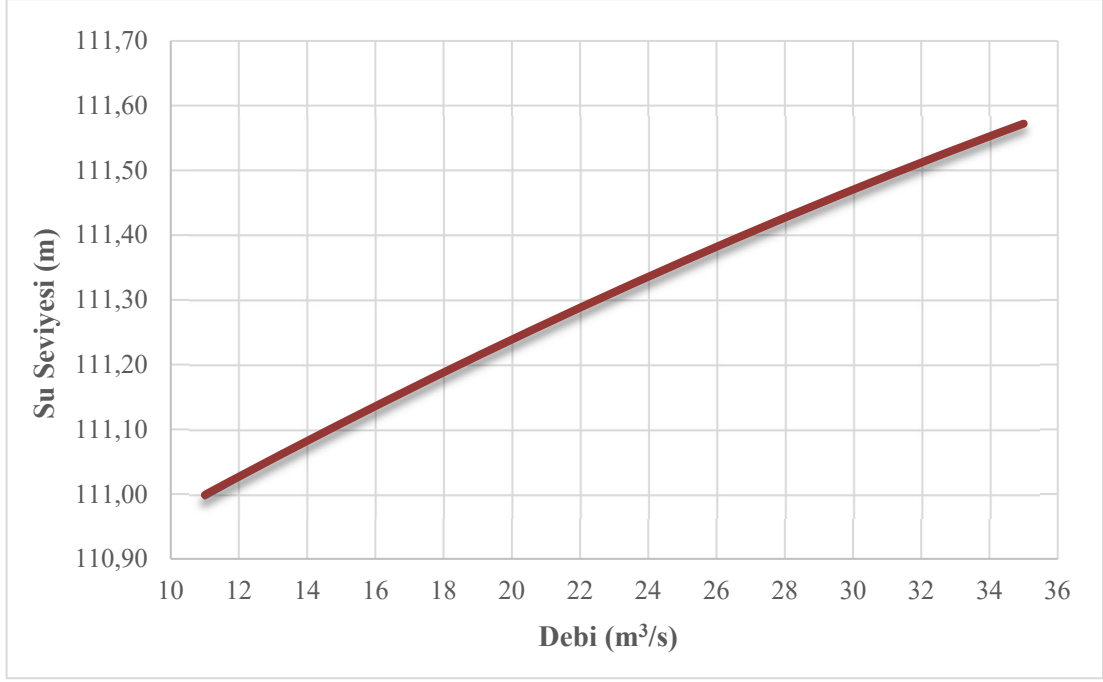
5.1.2.1 Çine Adnan Menderes Barajı Kuyruk Suyu Anahtar Eğrisi

Bir akarsuyun belli bir kesitinde debi seviye arasındaki ilişkiyi gösteren eğriye anahtar eğrisi denilmektedir. Hidroelektrik santral farklı debilerde çalışırken kuyruk suyu kanalının su seviyesinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişimleri debi ve seviye arasında ilişki kurarak gösteren eğriye de kuyruk suyu anahtar eğrisi denilmektedir.

Çine Adnan Menderes Barajı ve HES tesisinde kuyruk suyu kotu 110,50 m ile 111,60 m arasında değişim göstermektedir. Çine HES işletme çalışması için çeşitli debilerin oluşturduğu kuyruk suyu seviyeleri hesaplanmıştır. Böylece net düşünün de daha hassas bir biçimde hesaplandığı görülmüştür. Çine Adnan Menderes Barajı ve HES yaklaşık olarak 12 m³/s ile 35 m³/s debi aralığında çalışmaktadır. Minimum ve maksimum debiler arasındaki değerlere karşılık gelen kuyruk suyu seviyeleri Tablo 5.2'de, kuyruk suyu kanalı anahtar eğrisi de Şekil 5.2'de sunulmuştur.

Tablo 5.2: Çine HES Kuyruk Suyu Debi Seviye Çizelgesi

| Debi (m³/s) | Su Seviyesi (m) | Debi (m³/s) | Su Seviyesi (m) |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 12,00 | 111,03 | 24,00 | 111,34 |
| 13,00 | 111,05 | 25,00 | 111,36 |
| 14,00 | 111,08 | 26,00 | 111,38 |
| 15,00 | 111,11 | 27,00 | 111,40 |
| 16,00 | 111,14 | 28,00 | 111,43 |
| 17,00 | 111,16 | 29,00 | 111,45 |
| 18,00 | 111,19 | 30,00 | 111,47 |
| 19,00 | 111,21 | 31,00 | 111,49 |
| 20,00 | 111,24 | 32,00 | 111,51 |
| 21,00 | 111,26 | 33,00 | 111,53 |
| 22,00 | 111,29 | 34,00 | 111,55 |
| 23,00 | 111,31 | 35,00 | 111,57 |



Şekil 5.2: Çine HES Kuyruk Suyu Anahtar Eğrisi

5.1.3 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Türbin Verimi

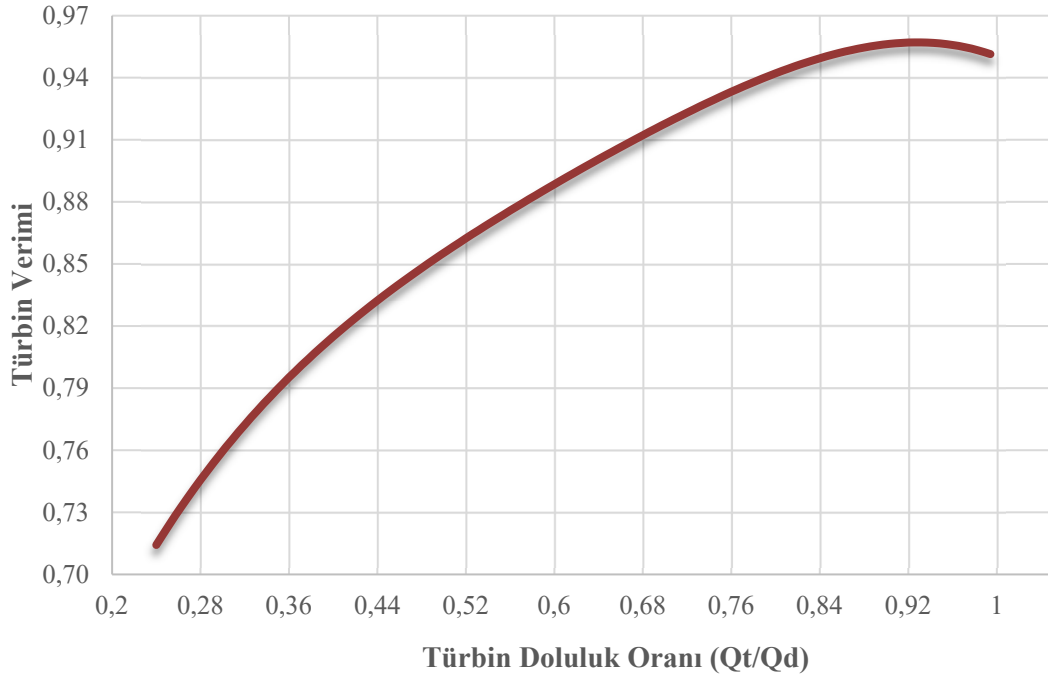
Hidroelektrik santrallerin verimliliğinde en büyük rolü olan teçhizat türbinlerdir. Yük ve düşü gibi temel işletme parametrelerinin değişimi diğer teçhizatlara göre türbin verimini daha büyük ölçüde etkilemektedir (Pala, 2007).

Türbinlenen debi ve türbin tipine göre değişiklik gösteren türbin verimi ise enerji üretimini etkileyen faktörlerin başında yer alır. Türbin verimliliği, türbin tipine ve deşarj hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca türbinlenen debi ve düşü miktarları da enerji üretimini doğrudan etkilemektedir. Düşü ve debi şartları dikkate alınarak belirlenen türbin verim eğrisi ile enerji üretiminde türbin veriminden kaynaklı kayıpların önüne geçilmektedir.

5.1.3.1 Çine Adnan Menderes Barajı ve HES Türbin Verim Eğrisi

Çine HES'te iki adet Francis tipi türbin kullanılmakta olup tek türbinin maksimum türbinleyebileceği debi 17,5 m³/s'dir. Santralde yer alan türbinlerine ait verim eğrisi kullanılarak türbin verim fonksiyonu belirlenmiştir. Aylık türbinlenen

debi (Q_t)'nin, bir türbinin maksimum türbinleyebileceği debiye (Q_d) oranı hesaplanarak türbin doluluk oranları elde edilmiştir. Verimlilik eğrisinde, y 'nin türbin verim katsayısı olarak ifade edildiği ve x 'in her ay için türbinlenen debinin, türbin tasarım debisine olan oranını gösterdiği bir denklem elde edilmiştir.



Şekil 5.3: Çine HES Türbin Verim Eğrisi

Çine HES'te kullanılan Francis tipi türbin tipi ve akış değerlerine özel elde edilen türbin verim eğrisi denklemi aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$y = -1.8146x^4 + 4.5515x^3 - 4.4506x^2 + 2.303x + 0.361 \quad (5.0)$$

Çine HES'e için Şekil 5.3'te yer alan türbin verim eğrisinde, türbin doluluk oranı yaklaşık 0,92 seviyesine ulaştığında maksimum türbin verim katsayısının 0,95 seviyelerinde olduğu görülmektedir.

5.2 İşletme Kural Eğrilerinde Kullanılan Karakteristikler

Tasarım Debisi (Q_{ts}): Tasarım debisi bir hidroelektrik santralin tüm unsurlarının boyutlandırılmasında büyük bir öneme sahiptir. Enerji üretimi ve kurulu gücün hesaplanmasında esas alınan tasarım debisi aynı zamanda anlık türbinlenen

maksimum debiye eşittir. Çine Adnan Menderes Barajı ve HES'in tasarım debisi 35,00 m³/s'dir.

Maksimum Türbin Debi (Q_{mak}): Tek türbinde anlık olarak türbinlenen debiye maksimum türbin debisi denilmektedir. Çine Adnan Menderes Barajı ve HES'in tasarım debisi 17,00 m³/s'dir.

Minimum Türbin Debi (Q_{min}): Tek türbinde anlık olarak türbinlenen debinin en alt sınırına minimum türbin debisi denilmektedir. Türbinlere bu debiden daha düşük miktarda debinin gelmesi söz konusu olduğunda enerji üretimi yapılamamaktadır. Projede kullanılacak olan türbin tipi, minimum türbin debisine karar verilmesinde etkilidir. Çine HES'te Francis tipi iki adet türbin bulunmaktadır. Francis türbinlerde maksimum türbin debisinin yaklaşık %32'si, minimum türbin debisi olarak alınabilmektedir. Çine HES türbinlerinin verimi de değerlendirildiğinde minimum türbin debisi olarak 12 m³/s belirlenmiştir.

Optimum Türbin Debi (Q_{opt}): Türbin veriminin en üst seviyede olmasını sağlayan debiye optimum türbin debisi denilmektedir. Türbin verim katsayısı, türbinlenen debi miktarına göre değişiklik göstermektedir. Hazne işletmesinde türbin verimini en optimum seviyeye getirmek adına söz konusu optimum türbin debisinin tespit edilmesi önem arz etmektedir.

5.3 Hazne İşletme Kural Eğrisi İçin Optimum Türbin Debisinin Belirlenmesi

Hidroelektrik santrallerde türbin veriminden en iyi şekilde faydalanmak amacıyla optimum türbin debisinin tespit edilmesi gerekmektedir. Her santralin türbin sayısı ve türbin tasarım kriteri birbirinden farklıdır. Bu nedenle hazneye özgü kural eğrileri geliştirilirken her santral için türbin verimindeki değişikliklerin de göz önüne alınması gerekir. Santraller işletilirken türbin verim katsayıları genellikle sabit bir değer olarak alınır. Ancak türbinlenen debi miktarında yaşanan değişiklikler türbin veriminin de değişmesine yol açmaktadır. Optimum türbin debisinin göz ardı edilmesi hazne işletme çalışmalarında yanlış sonuçlar almamıza neden olabilir.

Çine HES'te daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere iki adet dikey eksenli Francis türbin bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan işletme kural eğrileri oluşturulurken öncelikle tesisin türbin verim denklemi elde edilmiş olup hazne işletmesi sırasında türbin veriminin yüksek olması hedeflenmiştir.

Hazne işletmesinde doğru sonuçlar elde edilmesi adına bölüm 5.1.3.1.'de sunulan türbin verim eğrisi; hazne işletme çalışması modeline, her ay türbinlenmesine karar verilen aylık hacmi ve türbin verimliliğini dikkate alacak şekilde uyarlanmıştır.

5.3.1 Çine Adnan HES için Optimum Türbin Debinin Belirlenmesi

Çine HES için optimum türbin verisi belirlenirken santraldeki türbin sayısı ve türbin karakteristik özellikleri dikkate alınmıştır. Bu veriler yardımı ile oluşturulan türbin verim eğrisi ile de optimum türbin debisinin tespiti sağlanmıştır. Enerji üretiminin en yüksek seviyeye çıkarılması adına yapılan bu tespit daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Çine HES'e ait optimum türbin debisinin tespiti adına belirlenen kısıtlar aşağıda sunulmaktadır.

- Türbinlenen debi miktarının, Çine HES'te türbinlenebilecek minimum türbin debisinden küçük olması durumunda ($Q_{td} < Q_{min}$);
- ✓ Sadece tek türbinde $15,75 \text{ m}^3/\text{s}$ debi türbinlenecek şekilde en yüksek türbin verim katsayısına ulaşılarak enerji üretimi yapılmaktadır. Böylelikle enerji üretimi; gün boyu değil, günün belirli bir kısmında gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak sulama ihtiyacı karşılanmış ve aynı zamanda enerji üretimi de yüksek bir verim ile gerçekleşmiş olur.
- Türbinlenen debi miktarının, maksimum türbin debisi ile minimum türbin debisi aralığında olması durumunda ($Q_{min} \leq Q_{td} \leq Q_{max}$);
- ✓ Sadece tek türbin ile gün boyu enerji üretimi yapılmaktadır.
- Türbinlenen debi miktarının, maksimum türbin debisinden büyük ve tasarım debisinden küçük olması durumunda ($Q_{mak} \leq Q_{td} \leq Q_{ts}$);

- ✓ Her iki türbine de eşit debi gönderilecek şekilde enerji üretimi yapılmaktadır. Böylelikle türbin debisinin maksimum ve minimum sınırlar arasında kalması ve türbin verim katsayısının en az 0,86 olması sağlanmaktadır.
- Türbinlenen debi miktarının, maksimum iki türbin debisinden veya tasarım debisinden büyük olması durumunda ($Q_{mak} \leq Q_{td}$; $Q_{ts} \leq Q_{td}$);
- ✓ Türbinlenen debi iki türbine de eşit şekilde paylaştırılarak gün boyu enerji üretimi yapılmaktadır. Bu şekilde üretim yapıldığında, türbin verim katsayısının en az 0,95 olması sağlanmış olur.

5.4 Diferansiyel Evrim Optimizasyon Tekniği

Diferansiyel Evrim Optimizasyon Tekniği (DE), Charles Darwin'in doğal seçim kuramından esinlenerek Storn ve Price tarafından geliştirilen evrimsel tabanlı bir sezgisel optimizasyon tekniğidir. Diferansiyel Evrim Algoritması (DE), rassal olarak üretilen başlangıç popülasyonu ile başlaması sebebiyle diğer evrimsel algoritmalar ile benzerlik göstermektedir. Her nesilde daha nitelikli bireylere sahip yeni popülasyonlara ulaşmak amacıyla popülasyona mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörleri uygulanmaktadır. Bu evrimsel süreç, başlangıçta belirlenen bir durma koşulu sağlanıncaya kadar sürdürülmektedir.

DE algoritması, genetik algoritmalarda da kullanılan çaprazlama, mutasyon ve seleksiyon gibi benzer operatörleri de barındırmaktadır. Daha iyi çözümler oluşturmadaki temel fark ise genetik algoritmaların çaprazlamaya, DE'nin mutasyon işlemine dayanmasıdır. Bu ana işlem, popülasyondaki rastgele örneklenmiş çözüm çiftlerinin farklılıklarına dayanmaktadır (Karaboğa, 2004).

Genel işleyiş ve hesaplama mantığı bakımından genetik algoritmalar (GA) ile büyük benzerlikler göstermesine rağmen DE'nin GA'dan en büyük farkı ilgili problemin ikilik sayı dizileri yerine onluk sayı dizileri ile kodlanarak çözülmesidir. İki algoritmada da benzer operatörlerin kullanılmasına karşın, DE'de GA'dan farklı

olarak popülasyondaki tüm bireyler (kromozom) bu operatörler tarafından işlem görmektedir (Keskintürk, 2006).

Evrimsel algoritma tek bir bireyle ilgilenmek yerine bireylerin popülasyonu ile ilgilenmektedir. Her birey halihazırdaki problem için olası bir çözümü temsil etmekte olup aynı zamanda uygunluk ölçüt değerini belirlemek amacıyla değerlendirilmektedir. Uygun bireyleri seçmek suretiyle yeni popülasyon oluşturulmaktadır (Koyuncu, 2006).

Diferansiyel evrim algoritmasında kullanılan parametreler ve sınır değerleri aşağıda verilmektedir.

Np : Popülasyon büyüklüğü (kromozom sayısı) $Np \geq 4(1,2,3, \dots, i)$

D : Karar değişkeni sayısı (gen sayısı) $(1,2,3, \dots, j)$

C_R : Çaprazlama oranı

g : Jenerasyon $(1,2,3, \dots, gmax)$

F : Ölçekleme faktörü

$x_{j,i,g}$: Hedef vektör (g jenerasyonunda, i kromozomunun j parametresi)

$v_{j,i,g}$: Mutant vektör (mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom)

$u_{j,i,g}$: Deneme vektörü ($x_{j,i,g}$ 'den bir sonraki jenerasyon için üretilen kromozom)

b_L : Değişkene ait alt sınır

b_U : Değişkene ait üst sınır

$r_{0,1,2}$: Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rastgele seçilmiş kromozomlar $r_0, r_1, r_2 \in \{1,2,3, \dots, Np\}, r_0 \neq r_1 \neq r_2 \neq i$

Bu çalışma kapsamında Çine Adnan Menderes Barajı ve HES işletme çalışması için oluşturulan kural eğrileri DE tabanlı bir optimizasyon modeli kullanılarak oluşturulmuştur.

5.4.1 Popülasyonun Yapısı

Diferansiyel evrim algoritması (DE), rastgele oluşturulmuş N_p adet D – boyutlu gerçek değere sahip vektörlerden oluşan bir popülasyon ile başlamaktadır. Kromozom olarak da isimlendirilen N_p vektörleri, söz konusu probleme ait aday bir çözümü ifade etmektedir. Değişken sayısı olan D ise probleme bağlı olarak her bir kromozoma ait gen (boyut) sayısını belirlemektedir.

Aşağıda g neslindeki popülasyonun x . bireyi $P_{x,g}$ denklemi olarak gösterilmiştir.

$$P_{x,g} = (x_{i,g}), \quad i = 0,1, \dots, N_p - 1, \quad g = 0,1, \dots, g_{max} \quad (5.1)$$

$$(x_{i,g}) = (x_{j,i,g}), \quad j = 0,1, \dots, D - 1$$

Dizinler, modüler aritmetik ile çalışmayı basitleştirmek için 0 ile başlamaktadır. Her vektöre 0'dan başlayarak $N_p - 1$ 'e kadar devam eden bir popülasyon dizini (i) atanır. Denklem 5.1'de ifade edilen $g = 0,1, \dots, g_{max}$, bir vektörün ait olduğu jenerasyonu göstermektedir. Ek olarak, vektörler içindeki parametreler (j), 0'dan $D - 1$ 'e kadar devam ettirilmektedir.

Diferansiyel evrim algoritması başlatıldığında, N_p vektörlerinin bir ara popülasyonu olan $P_{v,g}$ 'yi üretmek için rastgele seçilen vektörler mutasyona uğratılır:

$$P_{v,g} = (v_{i,g}), \quad i = 0,1, \dots, N_p - 1, \quad g = 0,1, \dots, g_{max} \quad (5.2)$$

$$(v_{i,g}) = (v_{j,i,g}), \quad j = 0,1, \dots, D - 1$$

Daha sonra mevcut popülasyondaki her vektör, deneme vektörleri ($u_{i,g}$) tarafından bir deneme popülasyonu (P_u) üretmek için mutasyona uğramış vektör ile yeniden birleştirilir.

$$P_{u,g} = (u_{i,g}), \quad i = 0,1, \dots, N_p - 1, \quad g = 0,1, \dots, g_{max} \quad (5.3)$$

$$(u_{i,g}) = (u_{j,i,g}), \quad j = 0,1, \dots, D - 1$$

Bu birleşimde deneme vektörleri, mutasyona uğramış popülasyonun yerini alır. Böylece tek bir dizi her iki popülasyonu da barındırmış olur.

5.4.2 Başlangıç Popülasyonu

Diferansiyel Evrim Algoritması'nda, popülasyon başlatılmadan önce, her parametre için hem üst hem de alt sınırlar belirlenmelidir. Değişkenlerin alabileceği alt ve üst sınırları gösteren b_L ve b_U vektörleri, $D - boyutlu$ başlatma vektöründe toplanarak ifade edilebilir. Başlatma sınırları belirlendikten sonra, bir rasgele sayı üretici ($rand_j$), her vektörün her parametresine, öngörülen aralık içinden bir değer atar. Örneğin i . vektörün j . parametresinin başlangıç değeri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$x_{j,i,0} = rand_j(0,1) \cdot (b_{j,U} - b_{j,L}) + b_{j,L} \quad (5.4)$$

Formülde gösterilen $rand_j$, 0 ile 1 arasında üniform şekilde dağılmış rastgele değişkeni temsil etmektedir. Alt indis, j , her bir parametre için üretilen yeni ve rastgele bir değeri ifade etmektedir. Diferansiyel Evrim Algoritması'nda kullanılan değişkenler soyut veya integral olsa bile, gerçek bir değerle başlatılması gerekmektedir.

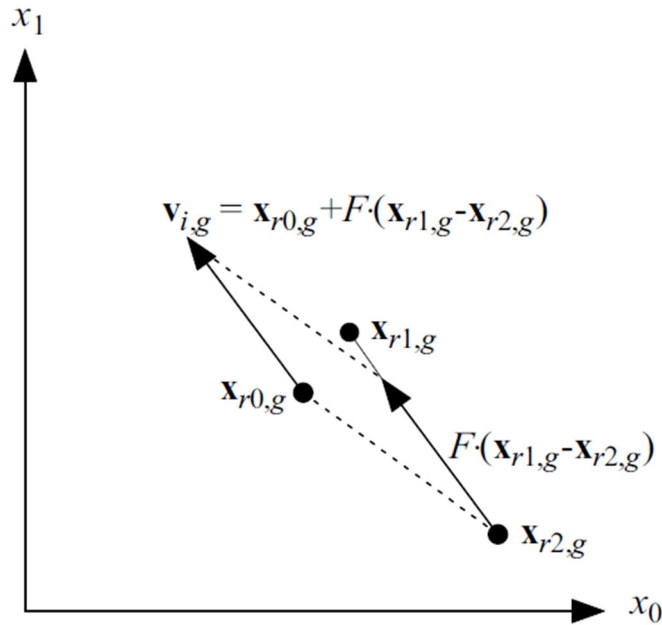
5.4.3 Mutasyon

Diferansiyel Evrim Algoritması, mutasyon işlemi başladıktan sonra N_p deneme vektörlerinden oluşan popülasyonları üretmek için popülasyonu mutasyona uğratır ve daha sonra yeniden birleştirir. Rastgele seçilen üç vektörden ikisinin farkı alınarak diğer vektörle toplama işlemi yapıldığında mutant vektör $v_{i,g}$ elde edilmiş olur. Denklem 5.5'te, mutasyon sonu elde edilen $v_{i,g}$ vektörünü oluşturmak için rastgele seçilen üç farklı vektörün nasıl birleştirildiği gösterilmektedir.

$$v_{i,g} = x_{r_0,g} + F \cdot (x_{r_1,g} - x_{r_2,g}) \quad (5.5)$$

Yukarıdaki denklemde "F" olarak ifade edilen mutasyon işleminin etkisinin kontrol edildiği ölçek katsayısını ifade etmektedir. Popülasyonun evrimleşme oranını kontrol eden 0 ile 1 aralığındaki pozitif bir gerçek sayıdır. Ölçekleme faktörü için bir üst sınır bulunmamaktadır. Ancak etkin ve verimli sonuç veren değerler genellikle 1'in üzerine çıkmamaktadır.

Temel vektör indisi olan "r₀" farklı yollardan temin edilebilir. Ancak şuanki mevcut durumda rastgele seçilen bir vektör olduğu varsayılmış olup hedef vektör indisinden i kadar farklı seçilmiştir. Fark vektörleri olarak tanımlanan "r₁" ve "r₂" de rastgele olarak seçilmektedir. Ancak bu vektörlerin seçilmesindeki temel şartlar; birbirinin aynısı olmaması, temel ve hedef vektörlerden de farklı olarak seçilmesidir. Şekil 5.4'te iki boyutlu parametre düzleminde mutasyon denkleminin nasıl oluşturulacağı gösterilmiştir.



Şekil 5.4: İki boyutlu parametre düzleminde mutasyon denkleminin oluşumu

5.4.4 Çaprazlama

Diferansiyel Evrim Algoritması mutasyon arama stratejisini tamamlamak için tek tip çaprazlama kullanır. Ayrık rekombinasyon olarak da adlandırılan (ikili)

5.4.5 Seçim

Çaprazlama işleminin ardından gelinen seçim aşamasında bir sonraki jenerasyona hangi kromozomun aktarılacağına Denklem 5.6'da gösterildiği gibi karar verilmektedir. İlk olarak $u_{i,g}$ ve $x_{i,g}$ vektörlerine ait $f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g})$ olarak gösterilen amaç fonksiyonları belirlenmektedir. Amaç fonksiyonu değeri daha iyi olan birey, bir sonraki jenerasyona aktarılarak iyileşme sağlanır. Aynı zamanda halihazırdaki jenerasyonun kendini tekrar etmesi engellenmekte ve çeşitlilik artırılmaktadır. Diferansiyel Evrim algoritmasında Denklem 5.5 ve 5.7 arasında ifade edilen çözüm yaklaşımı, problemin başında seçilen durma koşulu sağlanana kadar tekrarlanmakta ve böylece optimum çözüm açısından etkili sonuçlar elde edilebilmektedir.

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{eğer } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (5.7)$$

5.4.6 Diferansiyel Evrim Optimizasyon Tekniği Temel Adımları

Diferansiyel evrim optimizasyon tekniği, ebeveyn vektörü olarak ifade edilen $x_{i,g}$ 'den, deneme vektörü olan $u_{i,g}$ 'yi üretmek için mutasyon ve rekombinasyon işlemlerini kullanmaktadır. r_0 , r_1 ve r_2 indisleri, i indisinden ve birbirlerinden farklı olan rastgele seçilmiş popülasyon indisleridir. Burada i mevcut amaç vektörünü (ebeveyn) temsil etmektedir. Bu nedenle popülasyon büyüklüğü N_p her zaman 3'ten büyük olmalıdır. Hem C_r (Çaprazlama Oranı) hem de F değerleri kullanıcı tarafından belirlenen kontrol parametreleridir. C_r olasılığı ifade ettiği için 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. F ise ölçek katsayısı olarak ifade edilmektedir. $rand_j, C_r$ 'den küçük olduğunda ya da $j = j_{rand}$ olduğunda yeni (child, çocuk) parametre, rastgele seçilen üç vektörün doğrusal kombinasyonu olacaktır. Aksi halde yeni parametre doğrudan kendi ebeveyninden alınacaktır. $j = j_{rand}$ koşulu, yeni vektörlerin en az bir parametrede de olsa ebeveyn vektörlerden farklı olmasını garanti etmek amacıyla konulmuştur (Karaboğa, 2004).

Yukarıdaki bölümlerde anlatılan ve Denklem 5.5 ile 5.7 arasında anlatılan döngü Denklem 5.8'de basitçe ifade edilmektedir. Bu çalışmada, belirli kısıtlar dahilinde enerji üretimini en yüksek seviyeye çıkarmaktır. Problemin, bir

maksimizasyon problemi olmasından dolayı fonksiyon değerleri yüksek olan kromozomlar seçim sürecinde bir sonraki nesle aktarılır. Hazne işletmesi çalışması optimizasyonu için kullanılan seçim operatörü aşağıdaki döngüde verilmiştir.

$$u_{j,i,g} = \begin{cases} x_{j,r_0,g} + F \cdot (x_{j,r_1,g} - x_{j,r_2,g}), & \text{eğer } (rand_j(0,1) \leq C_r \text{ veya } j = j_{rand}) \\ x_{j,i,g} & \text{aksi halde} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} j &= 0,1, \dots, D - 1; \quad j_{rand} \in \{0,1, \dots, D - 1\} \\ i &= 0,1, \dots, N_p - 1 \\ g &= 0,1, \dots, g_{max} \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$r_0, r_1, r_2 \in \{0,1, \dots, N_p - 1\}, \quad r_0 \neq r_1 \neq r_2$$

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{eğer } f(u_{i,g}) \geq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{aksi halde} \end{cases}$$

5.4.7 Kodlama

DE optimizasyon tekniğinde, algoritmanın kodlaması oldukça basittir. Araştırmacılar tarafından genellikle ihmal edilen iç kontrol parametreleri, algoritmaya önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Problemin çözümü için belirlenen iç kontrol parametrelerinin sayısı algoritma için önem arz etmektedir. Çoğunlukla kullanılan diferansiyel evrim stratejilerinde sadece üç iç kontrol parametresi bulunmaktadır. DE, bu yönüyle en az iç kontrol parametresine sahip evrimsel algoritmalarından biridir. (Qing ve Lee, 2010).

Nümerik optimizasyon tekniğini kullanan çoğu algoritma nümerik parametreleri kodlamak için ikili tamsayıları kullanır. Fakat nümerik işlemlerde tamsayı formatını kullanarak parametre değerlerinin geniş dinamik sahasını verimli bir şekilde ifade etmek mümkün değildir. Gray kodlama gibi değişik kodlamalar kullanılsa da istenen tanımlama yapılamaz. Oysaki DE algoritması, gerçek parametreleri bilinen kayan-noktalı sayılar kullanarak kodlanmaktadır. Bu parametreler arasındaki işlem adımları, standart kayan noktalı aritmetik mantığına göre gerçekleştirilmektedir (Karaboğa, 2004).

Bu çalışma kapsamında kullanılan yapılan Çine Adnan Menderes Barajı ve HES'e ait işletme kural eğrileri DE optimizasyon tekniği ile MATLAB ortamında oluşturulmuştur. Diferansiyel evrim optimizasyon tekniğine ait basit bir kodlama Şekil 5.6'da sunulmuştur.

```

// initialize...

do // deneme populasyonu olustur
{
  for (i=0; i<Np; i++) // r0!=r1!=r2!=i
  {
    do r0=floor(rand(0,1)*Np); while (r0==i);
    do r1=floor(rand(0,1)*Np); while (r1==r0 or r1==i);
    do r2=floor(rand(0,1)*Np); while (r2==r1 or r2==r0 or r2==i);
    jrand=floor(D*rand(0,1));

    for (j=0; j<D; j++) // deneme vektor olustur
    {
      if (rand(0,1)<=Cr or j==jrand)
      {
        uj,i=xj,r0+F*(xj,r1-xj,r2); // sınır dışı mı kontrol et ??
      }
      else
      {
        uj,i=xj,i;
      }
    }
  }

  // bir sonraki nesli sec

  for (i=0; i<Np; i++)
  {
    if ( f(ui)<=f(xi) ) xi=ui;
  }
} while (sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar);

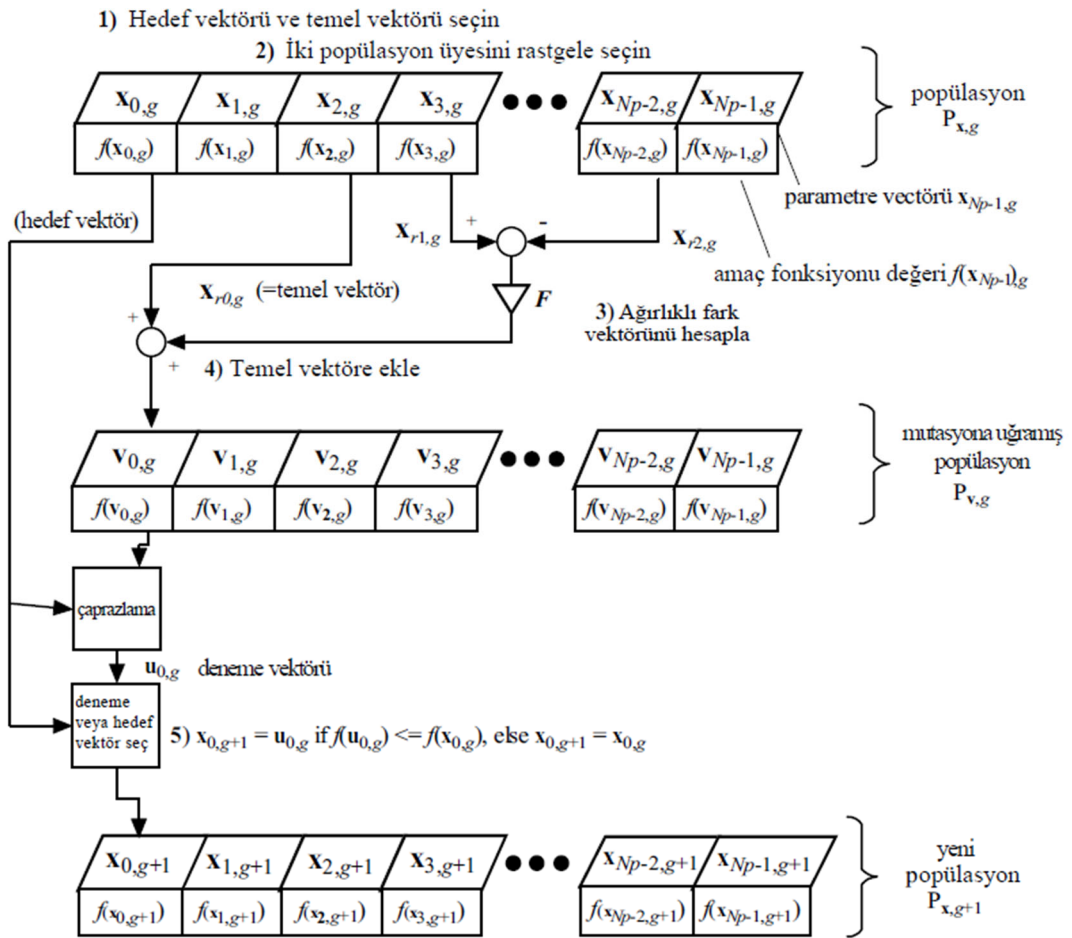
```

Şekil 5.6: Diferansiyel Evrim Algoritma Kodlaması

5.4.8 Akış Şeması

DE optimizasyon tekniği, başlangıç popülasyonu ve kontrol parametrelerine karar verilmesiyle başlamaktadır. Daha sonra durdurma kriteri sağlanana kadar sırasıyla mutasyon, çaprazlama, uygunluk fonksiyonu elde edilmesi ile son olarak seçim işleminin gerçekleşmesiyle son bulur.

DE optimizasyon tekniğinin temel adımları Şekil 5.7’de açık bir şekilde verilmektedir. Akış şemasındaki ikinci adımda görüldüğü üzere başlangıçta, N_p (Popülasyon Büyüklüğü) adet hedef vektöründen $(x_{i,g})$ rastgele dağıtılmış başlangıç popülasyonu üretilmektedir. $rand_j$, 0 ila 1 arasında eşit şekilde dağılmış rastgele değişkeni ifade eder. j indisi, j ’nin her bir değeri için yeni rastgele sayı üretildiğini göstermektedir. i indisi ise rastgele değer her bir değeri için yeni bir rastgele sayı üretildiğini göstermektedir. Oluşturulan bu popülasyon G_{max} jenerasyonu (Maximum Generation-Maksimum Jenerasyon, iterasyon) boyunca mutasyon, çaprazlama ve seleksiyon operatörleri uygulanarak devam ettirilir. (Karaboga,2004).



Şekil 5.7: Diferansiyel Evrim Algoritması Akış Şeması

5.5 Durdurma Kriteri

Diferansiyel evrim algoritmasındaki döngü, yüksek uygunluğa sahip bir kromozom elde edilene ve optimuma yaklaşmak için yeni nesiller üretilene kadar devam eder. Döngü, $G = Gmax$ olduğunda veya kullanıcı tarafından belirlenen bir durdurma kriteri ile sona erer. Bu çalışmada durdurma kriteri, popülasyondaki bireylerin uygunluk değerlerinin standart sapmasının $\epsilon = 10^{-4}$ 'ten küçük olmasıdır.

5.6 Ardışık Akım Öteleme Yöntemi İle Hazne İşletme Kural Eğrisi Elde Edilmesi

Hazne işletme politikaları için hedefler ve kısıtlar belirlenirken hazneye dönemlik olarak giren akımlara bağlı olarak haznede depolanması gereken veya hazneden bırakılması gereken su miktarları hesaplanmaktadır. Her haznenin farklı kısıtları ve gereksinimleri olduğundan dolayı hazneye özgü geliştirilecek işletme kural eğrileri ile işletme çalışması verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Ardışık akım öteleme metodu, Bölüm 3.1'de bahsedildiği üzere süreklilik denkleminde dayanmakta olup depolamalı sistemlerde hazne işletmesi gerçekleştirilirken kullanılan bir metottur. Ardışık akım ötelemesi metodunda, dönem sonlarındaki hazne su seviyeleri, depolama hacimleri ve hazne yüzey alanları, bir sonraki dönemin başlangıç değerlerine eşit kabul edilmektedir. Ayrıca santralde bulunan türbinlere ait karakteristik özellikler ve çalışma süreleri de bu metodun işleyişinde önem arz etmektedir.

Çine Adnan Menderes Barajı ve HES adına yapılan hazne işletme çalışmasında, kural eğrisinin oluşturulurken hazne işletmesi aylık olarak gerçekleştirilmiştir. Taşkın kontrolü ve sulama suyu gibi belirli amaçlar dikkate alınarak işletilen haznenin, gerçekleşen enerji üretimleri her ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Ardışık akım öteleme metodunda yer alan fonksiyonların, MATLAB programına aktarılmasıyla hazne işletme çalışması gerçekleştirilmiştir. Ardışık akım ötelemesi metoduna dair aşamalar bu bölümde ayrıntılı bir biçimde anlatılmaktadır.

5.6.1 Ardışık Akım Öteleme Metodu Aşamaları

Başlangıç Depolama Hacmi, S_d : Dönemin başında haznede mevcut olan depolama hacmini (hm^3) belirtmektedir. Ardışık öteleme metodu ile hesaplanan dönem sonundaki depolama hacmi, bir sonraki dönemin başındaki depolama hacmine eşit olarak alınmaktadır. Çine HES için işletmeye açıldığı dönemdeki hazne hacmi, işletme çalışması için başlangıç depolama hacmi olarak alınmıştır.

Başlangıç Su Seviyesi, H_d : Haznenin dönem başındaki depolama hacmine, kot-hacim-alan eğrisinden karşılık gelen yüksekliğini (m) gösterir.

Başlangıç Göl Alanı, A_d : Haznenin dönem başındaki su seviyesine, kot-hacim-alan eğrisinden karşılık gelen göl alanını (km^2) ifade eder.

Hazneye Giren Akım, I_d : İşletme dönemi boyunca ölçülen aylık hazne giren akımları ifade eder. Bu veriler Çine HES işletme müdürlüğünden alınmıştır.

Buharlaşma Miktarı, E_d : Bölgeye ait, her ay için hesaplanan ortalama buharlaşma miktarıdır. Buharlaşma verileri (mm), DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Sulama Miktarı, IR_d : Her dönem, hazneden sulama için bırakılan su miktarını ifade eder. Çine HES'te yapılan sulamalara ait miktarlar, Çine HES işletme müdürlüğünden temin edilmiştir.

Dönem Sonu İçin Hedeflenen Su Yüksekliği, H_{d+1}^* : Amaç fonksiyonunu en iyi seviyeye getirmek için seçilen karar değişkeni olup MATLAB programında yapılan optimizasyon sonucunda belirlenmektedir. Dönem sonu için hedeflenen su seviyeleri hazne için kural eğrisini oluşturmaktadır.

Dönem Sonu İçin Hedeflenen Depolama Hacmi, S_{d+1}^* : Dönem sonunda hedeflenen su yüksekliğine karşılık gelen ve kot-alan-hacim eğrisinden elde edilen hazne hacmidir.

Dönem Sonunda Bırakılması Gereken Hacim, B_d : Dönem sonu için hedeflenen su yüksekliğini korumak adına dönem sonunda hazneden tahliye edilen su

hacmini ifade eder. Bırakılması gereken hacim, hesaplamalar sonucu negatif değer alabilmektedir. Bu nedenle bırakılması gereken hacim, “0” değerine eşit ya da daha küçük olduğunda, “0” değerine eşit olarak alınmaktadır. Bu hacmi hesaplamak için aşağıda verilen denklem kullanılmaktadır.

$$B_d = S_d + I_d - E_d - I_R - S_{d+1}^* \quad (5.9)$$

Can Suyu Miktarı, C_d : Akarsu yatağındaki habitatın canlılığının devam etmesi için serbest bırakılması gereken su miktarını gösterir.

Dönem Sonunda Bırakılan Net Hacim, $B_{N,d}^*$: Dönem sonunda bırakılması gerekli hacme, sulama ve can suyu miktarları da hesaba katılarak bırakılacak net hacmi ifade etmektedir. Aşağıdaki verilen denklem ile hesaplanmaktadır.

$$B_{N,d}^* = B_d + I_R - C_d \quad (5.10)$$

Dolu Savaktan Bırakılan Hacim, V_{DS} : Dönem sonunda hazneden bırakılan net hacmin, o aydaki maksimum tübinlenebilecek hacimden daha fazla olması durumunda, aradaki fark dolu savaktan savaklanır. V_{tr_mak} , santraldeki türbinlerin tasarım hacmini ifade eder. Çine HES'te iki adet Francis türbin ile tübinlenebilecek debi en fazla $35 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Bu değer, hm^3 'e dönüştürülürse, bir ayda tübinlenebilecek en yüksek hacim miktarı elde edilmiş olur.

$$V_{DS} = B_{N,d}^* - V_{trb_mak} \quad (5.11)$$

Türbinlenen Net Hacim, $V_{N,trb}$: Ay sonunda bırakılacak net hacimden savaklanan hacmin çıkarılmasıyla hesaplanır. Toplamda her iki ünitenin türbinleyeceği hacim miktarıdır. Aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$V_{N,trb} = B_{N,d}^* - V_{DS} \quad (5.12)$$

Türbinlenen Net Debi, $Q_{N,d}$: Aylık türbinlenen net hacme karşılık gelen aylık ortalama debi miktarıdır.

Ünite Debisi, $Q_{T,d}^k$: Türbinlenecek net hacmin verimli bir biçimde türbinlere dağıtılması sağlamak adına karar hesapları sayesinde seçilen debidir. Çine HES'te

bulunan türbinler için, farklı aralıklar için karar verilen türbin-debi dağılım modeli Bölüm 5.3'te ayrıntılı olarak ifade edilmiştir. (k : santraldeki türbin sayısı)

Ünite Hacmi, $V_{N, trb}^k$: Ünite debisine karşılık gelen ünite hacmini ifade eder. Her bir ünite için ayrı hesaplanır.

Enerji Üretimi Yapılan Süre, t_d^k : Söz konusu ay içi her bir türbinin çalışma süresini saat biriminde ifade eden süredir. Türbin debilerinin belirlenmesinde kullanılan türbin-debi dağılım modeli yardımıyla hesaplanmaktadır.

Türbin Verimi, μ_d^k : Türbin verimi, projede kullanılan türbin teknik özelliklerine göre değişmektedir. Çine HES için türbin karakteristiğine ve akış oranına bağlı olarak çizilen türbin verim eğrisi (Şekil 5.3) yardımıyla her türbin için verim katsayısı hesaplanmıştır.

Dönem Sonu Depolama Hacmi, S_{d+1} : Haznede gerçekleştirilen işletme adımları neticesinde söz konusu ayın sonunda elde edilen depolama hacmini (hm^3) ifade etmektedir. Aşağıdaki denklem ile formüle edilmiştir.

$$S_{d+1} = S_d + I_d - E_d - IR_d - B_{N,d}^* \quad (5.13)$$

Dönem Sonu Su Seviyesi, H_{d+1} : Hazne için hazırlanan kot-alan-hacim eğrisinde dönem sonu depolama hacmine karşılık elde edilen dönem sonu su seviyesini (m) ifade eder.

Dönem Sonu Göl Alanı A_{d+1} : Hazne için hazırlanan kot-alan-hacim eğrisinde dönem sonu su seviyesine karşılık elde edilen dönem sonu göl alanını (km^2) ifade eder.

Dönem Sonu Kuyruk Suyu Seviyesindeki Değişim, $Y_{tw,d}$: Kuyruk suyu seviyesinde, farklı debilerin sebep olduğu değişimi ifade eder. Bölüm 5.1.2'de bahsedilen kuyruk suyu anahtar eğrisi yardımı ile hesaplanmaktadır.

Dönem Sonu Kuyruk Suyu Seviyesi, Y_{tw} : Kuyruk suyu taban kotuna, kuyruk suyu seviyesindeki değişimin eklenmesi ile hesaplanmaktadır. (Z_w : kuyruk suyu taban kotu)

$$Y_{tw} = Z_w + Y_{tw,d} \quad (5.14)$$

Su Hızı, v_d : Cebri borudaki su hızını ifade etmektedir. Net türbinlenen debinin cebri boru alanına oranlamasıyla hesaplanır. Su, türbinlere iletilirken kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu kayıpların hesaplanması adına cebri borudaki suyun hızı aşağıdaki formül ile belirlenir. (D_C : Cebri boru çapı)

$$v_d = \frac{Q_{N,d}}{\frac{\pi D_C^2}{4}} \quad (5.15)$$

Sürekli Kayıplar, $h_{LS,d}$: Cebri boruda sürtünme kaynaklı oluşan kayıplardır. Darcy-Weisback denklemi ile hesaplanır. (λ : Boyutsuz sürtünme katsayısı, D_C : Cebri boru çapı (m), L_C : Cebri boru uzunluğu (m); g : Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²))

$$h_{LS,d} = \lambda \left(\frac{L_C}{D_C} \right) \frac{v_d^2}{2g} \quad (5.16)$$

Yersel Kayıplar, $h_{LY,d}$: Cebri borudaki kurplarda ortaya çıkan yersel kayıplardır. Aşağıdaki denklem ile hesaplanır. (K : Yersel kayıp katsayısı. Bu katsayı, yersel kayıplar hesaplanırken çelik cebri boru için 2,20 alınmıştır.)

$$h_{LY,d} = K \frac{v_d^2}{2g} \quad (5.17)$$

Hazne Ortalama Su Seviyesi, $H_{ort,d}$: Haznenin, dönem başı ve dönem sonu su seviyelerinin ortalaması alınarak her ay için hesaplanan su seviyesidir. Enerji üretimi hesabı, hazne ortalama su seviyesi esas alınarak yapılmaktadır.

$$H_{ort,d} = \frac{H_d + H_{d+1}}{2} \quad (5.18)$$

Net Düşü, $H_{net,d}$: Hazne ortalama su seviyesinden, kuyruk suyu taban kotu ile yersel ve sürekli kayıpların çıkarılması ile hesaplanan düşüdür. Enerji üretimi hesaplanırken net düşü esas alınır.

$$H_{net,d} = H_{ort,d} - Y_{tw} - h_{LS,d} - h_{LY,d} \quad (5.19)$$

Ünite Enerji Üretimi, $E_{T,d}^k$: Her bir ünite, söz konusu dönem boyunca üretilen enerji miktarını ifade eder. (k : ünite sayısı, γ :suyun özgül ağırlığı)

$$E_{T,d}^k = Q_{T,d}^k \cdot H_{net,d} \cdot \gamma \cdot t_d^k \cdot \mu_d^k \quad (5.20)$$

Toplam Enerji Üretimi, $E_{T,d}$: İlgilin ayın sonunda, her iki ünite tarafından üretilen enerjilerin toplamını ifade eder. Santraldeki ünitelerin sayısına bağlı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$E_{T,d} = \sum_1^k E_{T,d}^k \quad (5.21)$$

Bu bölümde aşamaları ayrıntılı olarak açıklanan ardışık akım öteleme metodu, Çine HES'e ait kural eğrisi oluşturması için MATLAB programına kodlama olarak aktarılmıştır. Bu aşamadan sonra optimizasyon aşamasına geçilecek olup optimizasyon süreci ile ilgili ayrıntılar Bölüm 5.6'da anlatılmıştır.

5.7 Optimizasyon ile Hazne İşletme Kural Eğrisinin Elde Edilmesi

Çine HES için hazne işletme kural eğrisi geliştirilirken Bölüm 5.5.1'de anlatılan ardışık akım öteleme metodu adımları, MATLAB programına kodlanarak aktarılmıştır. MATLAB programında yapılan optimizasyon aşamasında ise diferansiyel evrim algoritması kullanılarak hazne işletme modeli oluşturulmuştur.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada enerji üretimini en yüksek seviyeye çıkarmak için hazne, mümkün olan en yüksek kotta işletilmiştir. Her ay sonunda hazne kotunda yaşanan yükselmeler, optimizasyon probleminin ana karar değişkenlerini oluşturmaktadır. Sulama suyu miktarı ve hazne için belirlenen diğer kısıtlar göz önünde bulundurularak her ay sonu için hedef su seviyeleri hesaplanmıştır. Haznedeki enerji üretimi için bırakılacak olan su miktarı bu hedef seviyelere göre belirlenmiştir. Ayrıca optimizasyon probleminin alt karar değişkenleri optimum türbin debisi ve ünite enerji üretim süresidir.

Kütle denge denkleminin dayanan optimizasyon problemi, bir amaç fonksiyonu ile fiziksel sınırlamalar gibi bazı kısıtlardan oluşmaktadır. Optimizasyon probleminin

çözülmesi için kullanılan amaç fonksiyonu ve karar değişkenleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Amaç Fonksiyonu:

$$E_{mak} = E_T^1 + E_T^2 \quad (5.22)$$

$$\begin{aligned} E_{mak} &= \sum_{d=1}^{91} Q_{T,d}^1 \cdot H_{net,d} \cdot \gamma \cdot t_d^1 \cdot \mu_d^1 + Q_{T,d}^2 \cdot H_{net,d} \cdot \gamma \cdot t_d^2 \cdot \mu_d^2 \\ &= \sum_{d=1}^{91} E_{T,d}^1 + E_{T,d}^2 \quad d = 1, 2, \dots, 91 \end{aligned} \quad (5.23)$$

Amaç fonksiyonunda yer alan değişkenlere ait tanımlamalar aşağıdaki gibidir.

E_{mak} : En büyüklenmiş toplam enerji üretimi (GWh)

E_T^1, E_T^2 : Her bir üniteye üretilen toplam enerji (GWh)

d : İşletme çalışmasında kullanılan ay sayısı (91 ay)

μ_d^1, μ_d^2 : Ünite verimi

γ : Suyun özgül ağırlığı (9,81 kN/m³)

$Q_{T,d}^1, Q_{T,d}^2$: Ünitelerin türbinlediği aylık su miktarı (m³/s)

$H_{net,d}$: Net düşü (m)

t_d^1, t_d^2 : Ünitelerin aylık enerji üretim süresi

$E_{T,d}^1, E_{T,d}^2$: Her bir üniteye üretilen aylık toplam enerji (GWh)

Kısıtlar:

$$S_{d+1} - S_d = + I_d - E_d - IR_d - B_{N,d}^* \quad d = 1, 2, \dots, 91 \quad (5.24)$$

Burada;

S_{d+1} : Dönem sonu depolama hacmini,

S_d : Dönem başı depolama hacmini,

I_d : Aylık hazne giriş akımını,

E_d : Göl alanında aylık olarak gerçekleşen buharlaşma miktarını,

IR_d : Sulama için bırakılan aylık su miktarını,

$B_{N,d}^*$: Dönem sonu hazneden bırakılacak net hacmi ifade eder.

$$H_{min} \leq H_{a,l} \leq H_{mak} \quad l = 1,2, \dots, 12 \quad (5.25)$$

H_{min} : Çine Barajı'na ait minimum işletme kotunu (m),

$H_{a,l}$: Çine Barajı için işletme kural eğrisi sonucu her ay için elde edilen işletme kotunu (m),

H_{mak} : Çine Barajı'na ait maksimum işletme kotunu (m) ifade eder.

$$V_{min} \leq V_{a,l} \leq V_{mak} \quad l = 1,2, \dots, 12 \quad (5.26)$$

V_{min} : Çine Barajı'na ait minimum işletme kotuna karşılık gelen hazne hacmini (hm^3),

$V_{a,l}$: Çine Barajı için işletme kural eğrisi sonucu her ay için elde edilen işletme kotuna karşılık gelen hazne hacmini (hm^3),

V_{mak} : Çine Barajı'na ait maksimum işletme kotuna karşılık gelen hazne hacmini (hm^3) ifade eder.

$$Q_{min} \leq Q_1 \leq Q_{mak} \quad (5.27)$$

$$Q_{min} \leq Q_2 \leq Q_{mak} \quad (5.28)$$

Q_{min} : Çine Barajı'na ait her ünite için minimum ünite debisini (m^3/s),

Q_1, Q_2 : Her bir ünitenin aylık olarak türbinlediği debiyi (m^3/s),

Q_{mak} : Çine Barajı'na ait her ünite için maksimum ünite debisini (m^3/s) ifade eder.

Amaç fonksiyonu, bu kısıtları da işleme katarak optimize edilmiştir. Tez çalışması kapsamında, Çine Adnan Menderes Barajı'nın işletme kural eğrisi geliştirilirken MATLAB R2016 programında diferansiyel evrim optimizasyon tekniği kullanılarak eniyileme çalışması gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon çalışmasında Windows 11, 32 GB RAM ve 2.60 GHz işlemci özelliklerine 6 çekirdekli bir bilgisayar kullanılmıştır. Diferansiyel evrim optimizasyon tekniği ile 10.000 jenerasyon ve her jenerasyonda 100 popülasyon oluşturacak şekilde optimizasyon yapılmıştır. Çözüm süresi yaklaşık 5 saat sürmüştür. 11480 fonksiyon ve 574. Jenerasyon değerlendirmesi sonucunda amaç fonksiyonunun en yüksek değeri elde edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuç

Türkiye, elektrik üretiminde yararlanabileceği çok zengin bir hidroelektrik potansiyele sahiptir. Hidroelektrik santraller, yenilenebilir enerjiler arasında verimi yüksek, yakıt gideri az, uzun ömürlü ve dışa bağımlı olmayan yerli kaynaklardır. Ülkemizde toplam elektrik üretiminde hidrolik enerjinin payı %31, yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki payı ise yaklaşık %60'tır. Ayrıca hidrolik tesislerin %70'ini biriktirmeli barajlar oluşturmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Suyun verimli kullanılması ve üretilen enerjinin ülke ekonomisine sağlayacağı katkının artması sebebiyle hidroelektrik santraller için en iyi işletme politikalarının belirlenmesi gerekmektedir.

Çine Adnan Menderes Barajı ve HES için yapılan bu çalışma ile var olan su kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılması ve üretilen enerjide artış sağlanması adına yeni bir işletme politikasının belirlenmesi araştırılmıştır. Aydın ili, Çine ilçesi sınırları içerisinde Büyük Menderes Nehri'nin yan kollarından biri olan Çine Çayı üzerinde bulunan Çine HES; sulama, taşkın koruma ve enerji üretimi olmak üzere üç amaç kapsamında inşa edilmiştir. Çine HES toplam 44,65 MWe kurulu güç ile yıllık 118 GWh elektrik üretim potansiyeline sahiptir.

Çine Adnan Menderes Barajı ve HES için hazne işletme kural eğrisi, diferansiyel evrim optimizasyon tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Çok amaçlı hazne için yeni bir işletme politikası oluşturulurken gerekli su taleplerini karşılanması ve enerji üretiminin en yüksek seviyeye çıkarılması hedeflenmiştir.

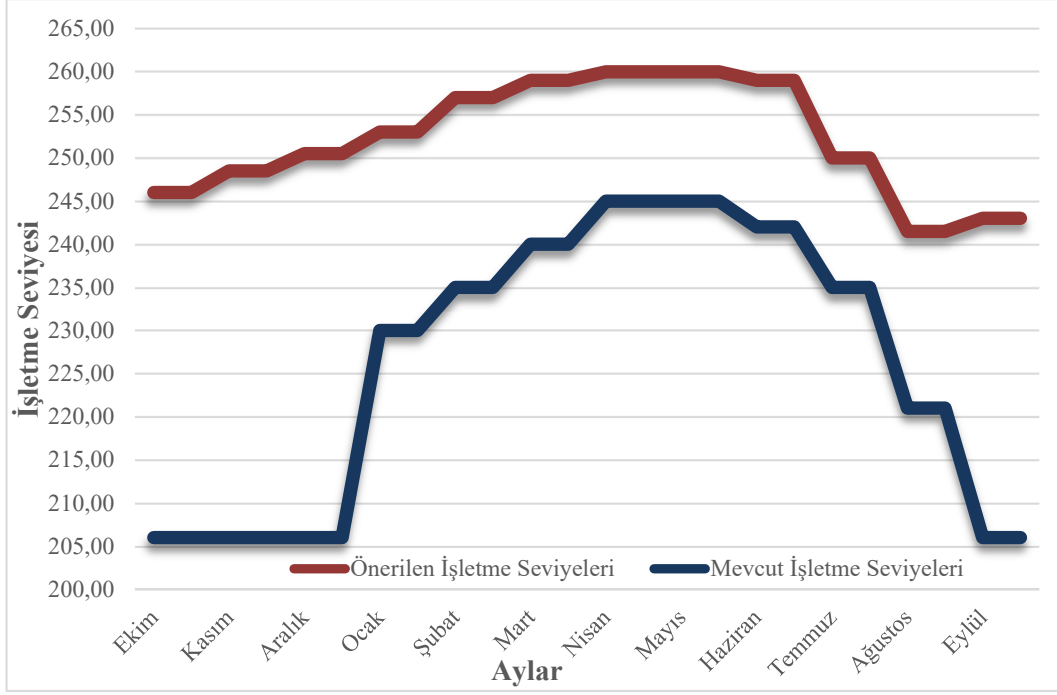
Hazne işletme çalışması; süreklilik denklemine dayalı olan, hazneye giren ve çıkan akımlar ile kayıpların hesaplandığı ardışık akım öteleme metodunun uygulanması ile başlamıştır. Bu metotta kullanılan hazne giriş akımları, 2014-2021 yıllarını kapsayan toplamda 91 aylık bir veri setidir. Aynı zamanda Çine HES'te türbin veriminden en iyi şekilde faydalanmak için optimum türbin debisi belirlenmiştir. Böylece türbin verimi de dikkate alınmış olup her ay türbinlenecek olan aylık hacmin, modellere uygun olarak dağıtılması sağlanmıştır.

Ardışık akım öteleme metodunun uygulanmasından sonra toplam enerji üretimini en yüksek seviyeye çıkarmak için hazne kısıtlarının da dikkate alındığı amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Diferansiyel evrim optimizasyon tekniği ile MATLAB programında haznenin aylık en iyi işletme seviyelerinin belirlendiği kural eğrisinin kotları elde edilmiştir. Optimizasyon yapılırken mutasyon ve çaprazlama aşamasında uygulanan mutasyon faktörü ve çaprazlama oranı belirlenen aralıkta rastgele seçilmiştir. Böylelikle optimizasyonun verimi artırılarak en yüksek sonuca yakınsama hızında iyileşme sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile Çine Barajı için en iyi hazne işletme politikası belirlenmiş olup her dönem için en uygun hazne işletme seviyelerinin karar verildiği işletme kural eğrisine ulaşılmıştır. Çine Barajı'na ait mevcutta işletme seviyeleri ile bu çalışma sonucunda önerilen işletme seviyeleri Tablo 6.1'de görülmektedir. Aynı zamanda mevcut işletme kural eğrisi ile elde edilen işletme kural eğrisinin kıyaslanması Şekil 6.1'de verilmektedir.

Tablo 6.1: Çine Barajı Mevcut İşletme Seviyeleri ve Optimizasyon Sonucu Önerilen İşletme Seviyeleri

| Aylar | Mevcut İşletme Seviyeleri (m) | Önerilen İşletme Seviyeleri (m) |
|----------------|--------------------------------------|--|
| Ekim | 205,80 | 245,73 |
| Kasım | 206,00 | 248,51 |
| Aralık | 206,50 | 250,55 |
| Ocak | 233,30 | 252,89 |
| Şubat | 235,50 | 256,97 |
| Mart | 240,00 | 258,96 |
| Nisan | 243,30 | 260,00 |
| Mayıs | 242,60 | 260,00 |
| Haziran | 242,41 | 259,65 |
| Temmuz | 236,30 | 250,00 |
| Ağustos | 221,00 | 241,68 |
| Eylül | 206,60 | 243,22 |



Şekil 6.1: Çine Barajı Aylık İşletme Seviyelerinin Kıyaslanması

Hazne işletme çalışması optimizasyonu sonucunda Çine Barajı için önerilen işletme seviyelerinin, mevcut işletme seviyelerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Önerilen işletme seviyeleri sayesinde enerji üretimini arttırmak için su tüketiminin de arttırılmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır. Çine Barajı'nın mevcut işletme kotlarının daha düşük seviyede olması, olası kurak dönemlerde sulama taleplerinin karşılanamamasına neden olabilmektedir. Önerilen işletme seviyeleriyle, haznenin depolama miktarı da oldukça artacak ve olası kurak dönemler için su talepleri de verimli bir şekilde karşılanmış olacaktır. Sonuç olarak; hazne işletme politikalarının geliştirilmesinin, su kaynaklarını verimli kullanmak açısından ne kadar önemli olduğu ispatlanmıştır.

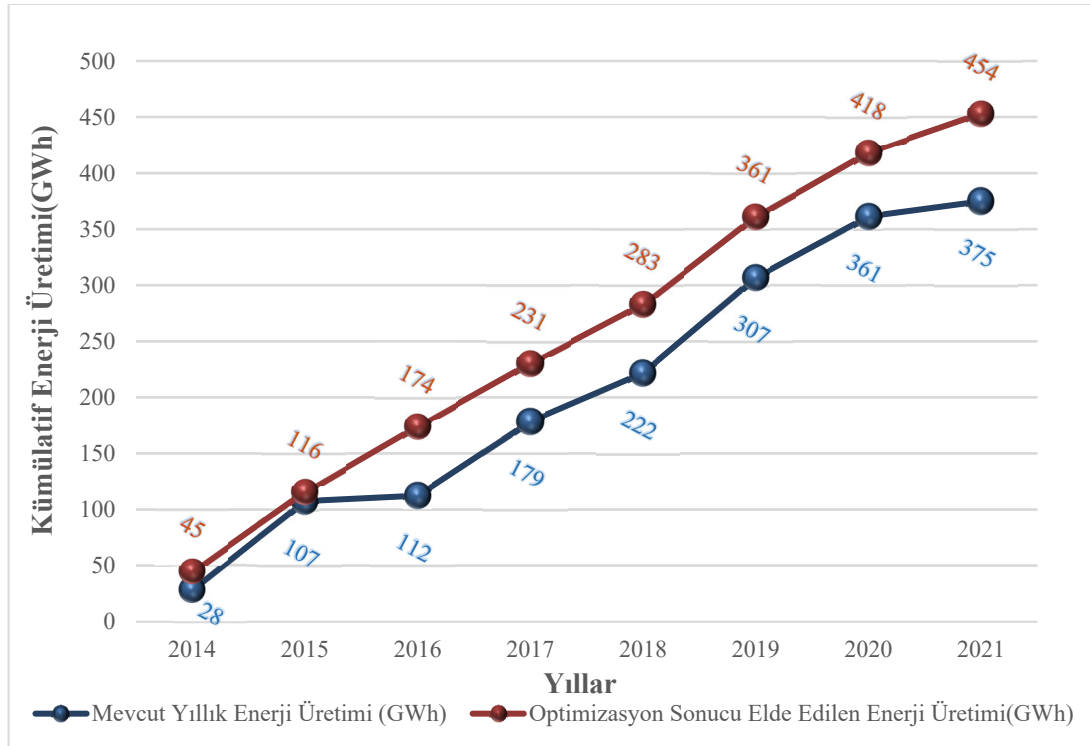
Çine HES İşletmesi ve EPIAŞ Şeffaflık Platformundan elde edilen bilgilere göre 2014-2022 yılları arasında Çine HES'te toplam 375 GWh enerji üretimi gerçekleşmiştir. Ekim 2015 döneminde cebri boruda yırtılma meydana gelmesi sebebiyle santral 8 ay çalışmamıştır. Bu nedenle 2016 yılında oldukça düşük bir enerji üretimi gerçekleştirmiştir. Ayrıca 2021 yılında yavaş yavaş etkilerini gösteren kuraklık sebebiyle de üretimlerde düşüş yaşandığı görülmektedir.

Çine HES'te 2014-2022 yılları arasında gerçekleşen üretimleri ile hazne işletmesi sonucu elde edilen yıllık enerji üretimi değerleri Tablo 6.2'de verilmektedir.

Tablo 6.2: Çine HES Yıllık Enerji Üretimlerinin Karşılaştırılması

| Yıllar | Gerçekleşen Enerji Üretimleri (GWh) | Optimizasyon Sonucu Elde Edilen Enerji Üretimleri (GWh) |
|---------------|-------------------------------------|---|
| 2014 | 28,17 | 44,854 |
| 2015 | 79,29 | 71,018 |
| 2016 | 4,95 | 58,479 |
| 2017 | 66,23 | 56,215 |
| 2018 | 43,14 | 52,686 |
| 2019 | 85,16 | 78,015 |
| 2020 | 54,48 | 57,214 |
| 2021 | 13,53 | 35,577 |
| Toplam | 374,95 | 454,057 |

Ayrıca santralin enerji üretimi gerçekleştirdiği yıllardaki kümülatif enerji üretimlerinin karşılaştırması da Şekil 6.2'de sunulmaktadır.



Şekil 6.2: Çine HES Kümülatif Enerji Üretimlerinin Karşılaştırılması

Çine HES'in, bu tez kapsamında geliştirilen kural eğrisi dikkate alınarak işletilmesi sonucunda 2014-2022 yılları arasında 454,057 GWh enerji üretimi gerçekleştirebileceği hesap edilmiştir. İşletmede mevcut olarak gerçekleştirilen enerji üretimlerine kıyasla 79 GWh daha fazla enerji üretimi yapılabileceği görülmüştür. Böylece toplam gerçekleşen enerji üretiminde yaklaşık %21 oranında artış sağlanmıştır.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde; ülkemiz su kaynaklarının kuraklık etkisi gösterdiği bu zamanda, Çine HES için oluşturulan hazne işletme modeli ile sulama, taşkın koruma gibi talepler karşılanarak hem su kaynakları verimli bir şekilde kullanılmış hem de enerji üretiminde artış sağlanmıştır. Aynı zamanda yeni bir yatırım yapılmasından ziyade sadece var olan işletme politikalarının değiştirilmesi ile daha fazla enerji üretilebileceği ve ekonomiye olan katkıda da ciddi anlamda artış sağlanacağı net bir biçimde ortaya konulmuştur.

6.2 Öneriler

Bu tez kapsamına dahil edilmeyen ancak incelenirse çalışmaya katkısı olacağı düşünülen öneriler aşağıdaki gibidir.

1. Çine HES için geliştirilen kural eğrisinde kullanılan veriler 2014-2021 yılları arasındaki 91 ayı kapsamaktadır. 2021 yılından sonraki aylara ait veriler de çalışma kapsamına eklenerek işletme çalışması yenilenebilir ve böylece daha güncel kural eğrileri elde edilebilir.

2. Bu çalışma kapsamında öngörülen hazne su seviyelerinin, mevcut sisteme uygulanması sağlanabilir. Böylece ortaya çıkan sonuçlar uygulamalı bir şekilde incelenebilir.

3. Hazne işletme çalışması için kullanılan model ve hesaplamalarda, gelecekteki iklim değişikliği faktörü de dikkate alınabilir.

7. KAYNAKLAR

Ahmad, A., El-Shafie, A., Razali, S. F. M. and Mohamad, Z. S., “Reservoir optimization in water resources: A review”, *Water Resources Management*, 28 (11), 3391–3405, (2014).

Ak, M., “Rule Curves For Operating Single- And Multi-Reservoir Hydropower Plants”, Doctor of Philosophy Thesis, *Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*, Ankara, (2017).

Al-Juboori, H. Q. A., “Optimal Operation of Koçali Dam and Hydropower Plant Project Via Genetic Algorithms”, M.Sc. Thesis, *University of Gaziantep Graduate School Of Natural & Applied Science*, Gaziantep, (2014).

Ara, İ., “Sıralı Barajlarda Hazne İşletme Eniyilemesi ile İşletme Kural Eğrilerinin Elde Edilmesi ve Büyük Menderes Nehri Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2018).

Barros, M. T. L., Ros, D. A. and Lopes, J. E. G., “Objective Functions For Hydropower System Operation”. *Watershed Management Conference*, Williamsburg, Virginia, 1–11, (2005).

Barros, M. T. L., Tsai, F. T. C., Yang, S.-l., Lopes, J. E. G. and Yeh, W. W. G., “Optimization of large-scale hydropower system operations”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129 (3), 178–88, (2003).

Cai, X., McKinney, D. C. and Lasdon, L. S., “Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach”, *Advances in Water Resources*, 24 (6), 667–76, (2001).

Chong K.L., Lai, S.H. and Ahmed, A. N., “Optimization of hydropower reservoir operation based on hedging policy using Jaya algorithm”, *Applied Soft Computing*, 106-107325, (2021).

Çıtakoğlu, H., Coşkun, Ö., “Bahçelik Barajı Ve Ünitelerinin Weap (Water Evaluation and Planning System) Programı İle Modellenmesi Ve İşletme Çalışması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2528-8733, (2020).

Doğan, M.S., “Hydropower Generation Optimization in the Era of Renewables and Climate Change”, Doctor of Philosophy Thesis, *University of California, California*, (2019).

Feng, Z.-k., Niu W.-j., and Cheng, C.-t., “Optimization of hydropower reservoirs operation balancing generation benefit and ecological requirement with parallel multi-objective genetic algorithm”, *Energy*, 153, 706–18, (2018).

Güreşçi, N. G., Seyrek, K. ve Sargın, A. H., “Coğrafi bilgi sistemleri ile hidroloji uygulamaları”, Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknoloji Dairesi Başkanlığı, CBS Şube Müdürlüğü, (2012).

Haddad, O. B., Afshar, A. and Mariño, M. A., “Design-operation of multihydropower reservoirs: HBMO approach”, *Water Resources Management*, 22 (12), 1709–1722, (2008).

Heidari, M., Chow, V. T., Kokotović, P. V. and Meredith, D. D., “Discrete Differential Dynamic Programming Approach to Water Resources Systems Optimization”, *Water Resources Research*, 7 (2), 273–82, (1971).

Hınçal, O., Altan-Sakarya, A. B., and Ger, A. M., “Optimization of Multireservoir Systems by Genetic Algorithm”, *Water Resources Management*, 25, 1465–87, (2011).

Howson, H. R. and Sancho, N. G. F., “A new algorithm for the solution of multistate dynamic programming problems”, *Mathematical Programming*, 8, 104–116, (1975).

Jain, S. K., Goel, M. and Agarwal, P. K., “Reservoir Operation Studies Of Sabarmati System”, *Journal Of Water Resources Planning And Management*, 124 (1), 31-37, (1998).

Karaboğa, D., *Yapay Zeka Optimizasyonu Algoritmaları*, İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım, (2004).

Kangrang, A. and Lokham, C., “Optimal Reservoir Rule Curves Considering Conditional Ant Colony Optimization With Simulation Model”, *Journal of Applied Sciences*, 13 (1), 154–160, (2013).

Karaboğa, D. and Okdem, S., “A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm”, *Turkish Journal of Electric Engineering*, 12 (1), 53–60, (2004).

Keskintürk, T., “Diferansiyel gelişim algoritması”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (9), 85-99, (2006).

Koyuncu, C.A., “Farksal Gelişim Algoritmasının İncelenmesi ve İşaret Kestiriminde Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*, (2006).

Labadie, J. W., “Optimal Operation Of Multireservoir Systems: State-Of-The-Art Review”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130 (2), 93- 111, (2004).

Lu, B., Li, K., Zhang, H., Wang, W. and Gu, H., “Study On The Optimal Hydropower Generation Of Zhelin Reservoir”, *Journal of Hydro-Environment Research*, 1–9, (2013).

Murray, M. and Yakowitz, S. J., “Constrained Differential Dynamic Programming and Its Application to Multireservoir Control”, *Water Resources Research*, 15 (5), 1017–1027, (1979).

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

Özcan, T. İ., “Su Kaynakları Yönetiminde Çoklu Hazne İşletmesi Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul*, (2021).

Özkök, V. “Hidroelektrik Potansiyel Belirleme Metotları ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, (2006).

Pala, R. “Hidroelektrik Santrallerde Türbin Verimliliğinin Termodinamik Metotla Ölçülmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*, (2007).

Prasanchum, H. and Kangrang A., “Optimal Reservoir Rule Curves under Climatic and Land Use Changes for Lampao Dam using Genetic Algorithm”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22 (1), 351–64, (2018).

Qing, A. and Lee, C. K., *Differential Evolution in Electromagnetics*, 4, Verlag Berlin Heidelberg: Springer, (2010).

Rani, D. and Moreira M. M., “Simulation-optimization modeling: A survey and potential application in reservoir systems operation”, *Water Resources Management*, 24 (6), 1107–38, (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).

Saadatpour, M., Afshar, A., and Solis, S. S., "Surrogate-Based Multi-period, Multiobjective Reservoir Operation Optimization for Quality and Quantity Management", *J. Water Resources Planning Management*, 146 (8): 04020053, (2020).

Saplıoğlu, K., Fatih A. Ş. and Topçu F, "Yapay Arı Kolonisi ile Hazne Kapasitesinin Optimizasyonu: Köprüçay Örneği", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2, 101–8, (2017).

Sharif, M. and Wardlaw R., "Multireservoir Systems Optimization Using Genetic Algorithms: Case Study", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14 (4), 255–63, (2000).

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

Storn, R., Price, K., "Differential Evolution a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces." *J. Global Optim.*, 11, 341-359, 1997.

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

Wurbs R.A., "Optimization of Multiple-Purpose Reservoir System Operations: A Review of Modeling and Analysis Approaches", *US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center*, Research Document No:34. (1991)

Wurbs, R.A., "Reservoir- System Simulation and Optimization Models", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119 (4), 455–72, (1993).

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

Yeh, W. W.-G., "Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review", *Water Resources Research*, 21 (12), 1797–1818, (1985).

T.C. Dış İşleri Bakanlığı, “Türkiye'nin Su Politikası [online]” (28.06.2022), https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-su-politikasi.tr.mfa

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [online], <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezienerjielektrik#:~:text=2022%20y%C4%B1%C4%B1%20Temmuz%20ay%C4%1%20sonu%20itibar%C4%B1yla%20kurulu%20g%C3%BCc%C3%BCm%3%BCz%C3%BCn%20kaynaklara%20g%C3%Bre,%C3%BC%20ise%20di%C4%9Fer%20kaynaklar%20%C5%9şeklindedir.,> (2022)

T.C. Kalkınma Bakanlığı, “Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) [online]”, (15.01.2022), https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/SuKaynaklariYonetimi_ve_GuvenligiOzelIhtisasKomisyonuRaporu.pdf, Ankara: (2018).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, “Büyük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı [online]” (18.03.2022), <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Kurakl%C4%B1k%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/B%C3%BCy%C3%BCk%20Menderes%20Havzas%C4%B1%20Kurakl%C4%B1k%20Y%C3%B6netim%20Plan%C4%B1%20Cilt%201.pdf>, Ankara: (2019)

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, “Büyük Menderes Havzası Taşkın yönetim Planı [online]”, (18.03.2022), <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/B%C3%9CY%C3%9CK%20MENDERES%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf>, Ankara: (2019)

Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, “Su:Yeni Elmas [online]”, (15.01.2022), https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/TSKBBakis_SUYeniElmas_Subat2019.pdf, İstanbul: (2019).

Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, “2021 Yılı Enerji Görünümü Raporu [online]”, (15.01.2022), https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu_2021.pdf, İstanbul: (2021).

Yurtal, R., “Çok Amaçlı Baraj Haznelerinin Genetik Algoritma ile Enerji Üretimi Amaçlı Optimizasyonu”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), ss. 217-223, (2019).