

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SEYHAN HAVZASINDA BULUNAN ÇOK BARAJLI BİR SU
KAYNAKLARI SİSTEMİNDE OPTİMAL ENERJİ ÜRETİMİ**

MEHMET FATİH AKIN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEYHAN HAVZASINDA BULUNAN ÇOK BARAJLI BİR SU
KAYNAKLARI SİSTEMİNDE OPTİMAL ENERJİ ÜRETİMİ

MEHMET FATİH AKIN

Prof. Dr. Mücahit OPAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Safa Bozkurt COŞKUN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr.Öğr.Üyesi Osman SÖNMEZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 16.05.2019

ÖNSÖZ

Sanayisi, ekonomisi ve nüfusu ile hızla büyümekte olan ülkemizde aynı şekilde enerji ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Dolayısıyla, enerji kaynaklarına ait potansiyelin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Çoğu enerji kaynağı iklim şartlarına bağlıdır. Bu nedenle enerji üretimini en verimli şekilde elde etmek için tasarım, planlama ve kontrol aşamasında optimizasyon yöntemlerini kullanmak büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, çok amaçlı ve çok barajlı sistemlerde enerji üretiminin uzun süreli optimal işletilmesi üzerine yapılmıştır. Burada yapılan işletme çalışmasında kurak dönem akımlarıyla güvenilir güç enbüyüklenmeye çalışılmış, elde edilen güvenilir güç sistemde kısıt olarak kullanılıp toplam enerjinin enbüyüklenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmamda, bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen, çalışmalarına yön veren danışmanım Prof. Dr. Mücahit OPAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca, maddi, manevi desteğini benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs-2019

Mehmet Fatih AKIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLOLAR DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
1.1. Giriş	4
1.2. Dinamik Programlama	5
2. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ	12
2.1. Sistemin Tanımlanması	12
2.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli	16
3. SEYHAN HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ	17
3.1. Giriş	17
3.2. Yükseklik- Hacim İlişkileri	21
3.3. Barajlara Gelen Akımlar.....	23
4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	26
4.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar	26
4.1.1. Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modele giren veriler.....	26
4.1.2. Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler	27
4.1.3. Toplam enerjinin en büyüklenmesinde modele giren veriler	30
4.1.4. Toplam enerjinin en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler.....	31
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37
EKLER.....	40
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	56
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dinamik programlamada herhangi bir aşamasındaki durum değeri ve durum-karar değişkeninin şematik gösterimi	6
Şekil 2.1. Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri	12
Şekil 2.2. Ana kol üzerindeki barajlar	13
Şekil 3.1. Seyhan Havza'sının şematik görünüşü	18
Şekil 3.2. Seyhan Havzası'nda Seyhan Nehri ana ve kolları üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü	19
Şekil 3.3. Yedigöze Barajı'nın görüntüsü	20
Şekil 3.4. Çatalan Barajı'nın görüntüsü	21
Şekil 3.5. Seyhan Barajı'nın görüntüsü	21
Şekil 3.6. Yedigöze Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	22
Şekil 3.7. Çatalan Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	22
Şekil 3.8. Seyhan Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	23
Şekil 3.9. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar	25
Şekil 3.10. Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar	25
Şekil 4.1. Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri	28
Şekil 4.2. Kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri	29
Şekil 4.3. Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri	32
Şekil 4.4. Aylık toplam güç değerleri	33

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Seyhan Havzası'nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağılı bulunan barajlara ait veriler	20
Tablo 3.2. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (10^6 m^3)	24
Tablo 3.3. 2014 yılı kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10^6 m^3).....	24
Tablo 4.1. Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar.....	26
Tablo 4.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri.....	26
Tablo 4.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları.....	27
Tablo 4.4. Barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	27
Tablo 4.5. Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları.....	28
Tablo 4.6. Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri	28
Tablo 4.7. Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	29
Tablo 4.8. Seyhan Havza'sındaki sisteme ait barajların güvenilir güç değerleri, P_G , (MW)	30
Tablo 4.9. Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar	31
Tablo 4.10. Barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	31
Tablo 4.11. Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları.....	32
Tablo 4.12. Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri	32
Tablo 4.13. Barajların aylık güç değerleri.....	33
Tablo 4.14. Seyhan Havza'sındaki sisteme ait barajların ortalama güç değerleri, P_{ort} , (MW).....	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$B_{i,t}$	: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı miktarı, (10^6 m^3)
dk_i	: i-barajında tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağlı bir katsayı
d_t	: t aşaması için karar değişkeni
$F_{i,t}$	: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım miktarı, (10^6 m^3)
$(h_f)_{i,t}$	: i-barajında t-zamandaki sürtünmeden dolayı yük kaybı
$h_{i,t}$	: i-barajında t-zamandaki ortalama net düşü
$h_{i,t}^*$	: Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği, (m)
k_i	: i-barajında enerji üretim katsayısı
l_i	: i-barajında taşıma tüneli uzunluğu, (m)
m	: Baraj sayısı
P_G	: Güvenilir güç, (MW)
p_G	: Güvenilir enerji birim fiyatı
P_{k_i}	: i-barajındaki kurulu güç, (MW)
p_s	: Sekonder enerji birim fiyatı
r_t	: t-aşaması için aşama dönüşüm fonksiyonu
$R_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda dolu savaktan bırakılan akım miktarı, (10^6 m^3)
R_i^{Maks}	: i-barajında dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı, (10^6 m^3)
$S_{i,t}$	: i- barajında t-zamanda depolanan su miktarı, (10^6 m^3)
S_i^{Nor}	: i- barajında t-zamandaki aylık normal işletme seviyesi, (10^6 m^3)
$S_{i,t}^{\text{Min}}$	: i-barajında t-zamandaki aylık minimum işletme seviyesi, (10^6 m^3)
S_i^{Min}	: i-barajında depolanan minimum su miktarı, (10^6 m^3)
S_i^{Maks}	: i-barajında depolanan maksimum su miktarı, (10^6 m^3)
t	: Aşama sayısı, (saniye)
Y	: Hazneden çıkan akımlar, (10^6 m^3)
$Q_{i,t}$	: i-barajından t-zamanda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı, (10^6 m^3)
Q_i^{Maks}	: i-barajında enerji üretimi için bırakılan maksimum su miktarı, ($10^6 \text{ m}^3/\text{sn}$)
$W_{i,t}$	: i-barajında t-zamanda akarsu yatağına bırakılması gereken minimum su miktarı (sulama, kirlilik kontrolü, ulaşım amacı gözetilerek), ($10^6 \text{ m}^3/\text{sn}$)
W_i^{Maks}	: i-barajında akarsu yatağına bırakılabilecek maksimum su miktarı (taşkın kontrolü için emniyetli akım), ($10^6 \text{ m}^3/\text{sn}$)
x_t	: t-aşamasındaki durum değişkeni
X	: Hazneye giren akımlar, (10^6 m^3)

Kısaltmalar

- DP : Dynamic Programming (Dinamik Programlama)
DDP : Differential Dynamic Programming (Farksal Dinamik Programlama)
DDDP : Discrete Differential Dynamic Programming (Ayrık Farksal Dinamik Programlama)
DPSA : Dynamic Programming With Successive Approximations (Ardışık Yaklaşırmalı Dinamik Programlama)
IDP : Incremental Dynamic Programming (Artırımlı Dinamik Programlama)
IDPSA: Incremental Dynamic Programming With Successive Approximations (Ardışık Yaklaşırmalı Artırımlı Dinamik Programlama)
KHEP : Koyna Hidroelektrik Projesi
MIDP : Multilevel Incremental Dynamic Programming (Çok-seviyeli Artırımlı Dinamik Programlama)
MSDP : Multi-Stage Dynamic Programming (Çok-aşamalı Dinamik Programlama)
NLP : Non-linear Programming (Doğrusal Olmayan Programlama)
SDP : Stochastic Dynamic Programming (Stokastik Dinamik Programlama)

SEYHAN HAVZASINDA BULUNAN ÇOK BARAJLI BİR SU KAYNAKLARI SİSTEMİNDE OPTİMAL ENERJİ ÜRETİMİ

ÖZET

Su kaynaklarının optimal olarak planlanması ve işletilmesi, ülke ekonomileri ve hayat standartları gibi unsurları içerisinde bulunduran karmaşık bir yapıya ve sürece dayanmaktadır. Su kaynakları planlaması, istenilen amaçlar doğrultusunda ve öngörülen kriterler çerçevesinde su kaynaklarının en verimli kullanımını sağlayacak faaliyetlerin tamamını kapsamalıdır. Bu kapsamda çok barajlı havzalarda birçok amaç için su kaynaklarının planlaması ve yönetimi önem kazanmaktadır. Son yıllarda optimizasyon tekniklerinin, simulasyon modellerinin ve veriye dayalı modellerin kullanımı giderek arttığı görülmektedir. Bu teknikler ve modeller geleneksel kontrol tekniklerine de alternatif bir yaklaşım oluşturmaktadır. Bu çalışmada, çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi tanımlanmıştır. Bu sistem üzerine uzun süreli planlama işletme optimizasyon modeli kurulmuştur. Uzun süreli planlama için geliştirilen optimizasyon modelinde ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Kurulan model, Seyhan Havzası'nda Seyhan Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemine uygulanmıştır. Modelde amaç fonksiyonu iki aşamaya sahiptir. Bu sistemde ilk olarak kurak dönem akımlarıyla güvenilir güç enbüyüklenmeye çalışılmıştır. Elde edilen güvenilir güç sistemde kısıt olarak tanımlandıktan sonra, toplam enerji enbüyüklenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen sonuç enerji üretimi bakımından karşılaştırıldığında, optimizasyon modelinin daha iyi sonuç ürettiği görülmüştür. Modelden elde edilen güvenilir ve ortalama güç değerleri diğer yaklaşımlardan çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çok Barajlı ve Çok Amaçlı Sistemler, Dinamik Programlama, Enerji Üretimi, Seyhan Havzası, Uzun Süreli Optimal İşletme.

OPTIMUM ENERGY PRODUCTION IN A MULTI-RESERVOIR WATER RESOURCES SYSTEM LOCATED IN SEYHAN BASIN

ABSTRACT

The optimal planning and operation of water resources is based on a complex structure and process that includes elements such as country economies and living standards. Water resources planning should cover all activities that will ensure the most efficient use of water resources in accordance with the foreseen objectives and within the foreseen criteria. In this context, planning and management of water resources are gaining importance for many purposes in multi-dam basins. In recent years, the use of optimization techniques, simulation models and data-based models has increased. These techniques and models also provide an alternative approach to conventional control techniques. In this study, a multi-purpose and multi-reservoir water resources system is defined. A long-term planning operation optimization model has been established on this system. In the optimization model developed for long term planning, dynamic optimization optimization technique with sequential approximation is used. The model was applied to a multi-purpose and multi-reservoir water resources system which is consecutively located on the main branch of the Seyhan River in the Seyhan River Basin. The purpose function in the model has two stages. In this system, reliable power has been tried to be maximized with dry period currents. After the reliable power system is defined as a constraint in the system, the total energy is enlarged. As a result, it is seen that the optimization model produces better results compared to the result of energy production. Reliable and average power values obtained from the model were found to be better than the other approaches.

Keywords: Multiple Reservoir and Multiobjective Systems, Dynamic Programming, Energy Production, Seyhan Basin, Long Term Optimal Operation.

GİRİŞ

Su, sadece yaşamımızın devamı için gerekli olan bir madde değil, aynı zamanda medeniyetin ve kalkınmanın kaynağıdır. Hakeza medeniyete ev sahipliği yapan uygarlıklar ilk yerleşim alanlarını su kaynaklarının yanında seçmiştir. Su, günümüz modern toplumlarında tarımsal üretim, sanayi kullanımı ve enerji üretimi yönünden büyük önem taşır. Temiz su, enerji ve gıda güvenliği mefhumlarının sık tartışılmaya başlandığı yüzyılımızda, enerji/gıda üretimindeki ana girdi niteliğinde olan suyun ve bununla beraber su kaynakları yönetiminin önemi daha da artmaktadır.

Türkiye'nin mevcut kullanılabilir su potansiyeline göre kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı hesap edildiğinde 1.403 m^3 olduğu görülmektedir. Rakamlarla da görüldüğü üzere Türkiye su zengini bir ülke olmadığı gibi, kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke durumundadır. TÜİK, 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının $1.120 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dolaylarında olacağı öngörülmektedir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi, gerçekleşmesi muhtemel kuraklıklar gibi faktörlerin etkisi Türkiye'nin gelecekte daha mühim su kaynakları sorunları yaşayacağını ortaya koymaktadır. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 2030 yılına kadar hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir (DSİ, 2014). Sürdürülebilir bir su kullanımı politikası için sadece sulama ve içme suyu ihtiyaçlarına ilişkin çözüm üretmenin yanı sıra mevcut hidroelektrik tesisleri de verimli bir şekilde kullanılmalıdır.

Türkiye akarsularının akışları gerek mevsimden mevsime, gerekse yıldan yıla çok büyük değişiklikler gösterdiğinden, bu değişken akışların barajlarla düzenlenmesini zaruri kılmaktadır. Su kuvveti tesisleri, bilhassa barajlı santraller, maksimum güç gereksiniminin karşılanmasında en kullanışlı santral türüdür. Baraj hazneleri dolaylı veya dolaysız olarak taşkınların sönmülmesinde de etkili oldukları gibi, pek çok su kuvveti tesisinde, barajlar sulama sistemleri için gerekli suyun düzenlenmesine de büyük katkı sağlamaktadır.

Hazne işletme eniyileme çalışmaları yapılarak, verimliliğin artırılmasında azımsanmayacak katkılar sağlayacaktır. Hazne işletme eniyileme çalışmaları hidrolojik çevrim ilkesini baz alarak yapılan, hazneye giren akımları ve hazneden bırakılacak akımları çeşitli kısıtları dikkate alarak tayin eden modellemelerdir. Sıralı haznelerin her birinin ayrı ayrı çalışması yerine sistemi bir bütün olarak ele alıp havzanın tamamı için eniyilemeye çalışılması halinde daha verimli sonuçlar elde edilmektedir. Sıralı haznelerin işletilmesinde mansaba iletilecek suyun belirlenmesi esnasında sıralı tesislerin tümünün üreteceği enerjinin en büyüklenmesi amaçlanmalıdır. Böylelikle gereken kısıtlar sağlanarak (sulama, içme suyu, vs.) en az su kullanımıyla en çok enerji üretiminin nasıl yapılacağı aranmaktadır.

Çok barajlı sistemlerin uzun süreli planlaması, sistemin ekonomik ömrü boyunca elde edilecek faydanın optimal olmasını hedeflemektedir. Bundan dolayı sistemin optimal olarak boyutlandırılması ve uzun süreli optimal işletme politikaları ile bunlara karşılık olan risklerin belirlenmesi, bir bütün olarak uzun süreli bir planlama içerisinde ele alınmaktadır.

Bu çalışmada, çok barajlı bir sistemin uzun süreli optimal işletme politikalarının (normal işletme seviyeleri) aylık ortalama akımlarla üretilen enerjiyi enbüyükleyecek şekilde yapılması öngörülmüştür. Çok barajlı ve çok amaçlı bir su kaynakları sistemi tanımlandıktan sonra, bu sistemde enerji üretimini incelemek amacıyla uzun süreli planlama çalışmaları yapılmıştır. Yapılan planlama sonucunda, uzun süreli optimizasyon modeli üretilmiştir. Bu modelde, kurak dönemde, kurak dönemin aylık ortalama akımları kullanılarak yapılan işletme neticesinde, aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmiş ve en büyüklenmiş güvenilir güç değeri belirlenmiştir. Bu güvenilir güç değeri, aynı modelde kısıt olarak tanımlanarak toplam enerji en büyüklenmekte ve normal işletme seviyeleri elde edilmektedir. Böylelikle, sistem için güvenilir enerji ve toplam enerji optimizasyonları yapıp, işletme politikaları belirlenmiştir.

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA) optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada, kritik dönemin (kurak dönem) aylık akımları kullanılarak güvenilir güç enbüyüklenmekte ve aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmektedir. Buradan enbüyüklenen güvenilir güç,

aynı modelde kısıt olarak kullanılıp, aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri belirlenmektedir (Opan, 2007).

Uygulama amaçlı olarak Seyhan Havzasındaki çok barajlı bir su kaynakları sistemi ele alınmıştır. Seyhan Havzası'nda, Seyhan nehri ana kolu üzerinde birbirine ardışık olarak bağlı çok barajlı bir sistem bulunmaktadır. Bu sisteme ait barajlar, sırasıyla, Yedigöze, Çatalan ve Seyhan barajlarıdır. Bu barajlardan Yedigöze sulama ve enerji amaçlı, Çatalan ve Seyhan enerji, sulama ve taşkın koruma amaçlı olarak planlanmıştır. Bu barajlara ait teknik ayrıntılar, Bölüm 3' te verilmektedir.



1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de nüfusun devamlı artmasına rağmen su potansiyelinin sabit kalmasıyla; yaşamsal ve ekonomik ehemmiyeti çok fazla olan su kaynakları için mevcut su kaynaklarının geliştirilmesini ve kullanımının planlı olarak yürütülmesini mecburi kılmaktadır. Su kaynaklarının planlaması, öngörülen gayenin gerçekleştirilmesi için kaynakların en uygun alternatife yöneltilmesi ve böylece en uygun çözümün bulunması için yapılan sistematik bir çalışmadır. Yapılacak olan planlardan en yüksek başarının sağlanabilmesi için planlamanın havza bazında yapılması gerekmektedir.

Günümüzde kullanılmakta olan birçok baraj ve rezervuar sistemi çok amaçlı (taşkın kontrolü, enerji üretimi, şehir şebeke ve tarımsal su ihtiyacı, nakliye) olup enerji üretimi ve taşkın kontrolü öncelikli hedefler olarak ön plana çıkmaktadır. Baraj sistemlerindeki verimsiz stratejik yönetim süreçleri günümüzde birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve gerçekçi olmayan teknolojilerin ve bireysel kararların neticeleri fayda/maliyet analizleri de yapılarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Chen, 2003; John, 2004).

Sürdürülebilir bir kalkınma için, ülkenin hidroelektrik potansiyelinin etkin kullanılması önemlidir ve hazne işletme çalışması, verimliliği arttırmada önemli bir roledir. Hazne işletme eğrileri; hazne işletmelerine kılavuzluk eden, hazneye giren akımlar ve depolama hacmi göz önünde bulundurularak hazneden bırakılacak suyu belirleyen denklemlerdir. İşletme eğrileri ekseriyetle kritik hidrolojik koşulların sıralı analizine bağlıdır ve eniyi işletme politikaları, mansap su temini ve enerji üretimi konusunda sistemin performansını artırır.

Ülkemizde yapımı planlanan veya hali hazırda işletmede bulunan biriktirmeli hidroelektrik projelerinin teknik ve ekonomik olarak eniyi işletilmesi ve bununla birlikte enerji üretimlerinin en büyük değerlere çıkarılmasında hazne işletme

alışmalarının önemi dikkat çekicidir. Uygulamalarda, sistemin mevcut durumu üzerindeki şartlara bağlı kalarak işletme eğrileri takip edilmelidir. ‘‘Bir hazne sistemi işletilmesinde; değerlendirmeler, sistem performansının zamanla değişen mevcut su talebini karşılaması üzerine yapılır. Bir hazne sisteminde işletmenin maksadı, kütle denge denklemleri ve diğer kısıtlar altında faydaları maksimize etmek, masrafları minimize etmek, değişken su taleplerini karşılamaktır’’ (Rani ve Moreira, 2009).

Yağışlı mevsimlerdeki su miktarının fazlalığı, kurak mevsimlerdeki su sıkıntısı ve taşkın zamanlarındaki baraj yıkılma ve sızdırma riskleri baraj işletmecileri adına önemli kararlar alınmasını icap ettirmektedir. Bu çerçevede optimizasyon metodlarının su kaynakları projelerine uygulanması oldukça detaylı çalışılmış konulardan birisi olmuştur. Özellikle baraj işletme verimliliğinin artırılması için çok farklı programlama yöntemleri uygulanmıştır. Bu tekniklerden bazıları Linear, Nonlinear, Dinamik; Stokastik yöntemleri ve Hristik yaklaşımları (Genetik algoritmalar, Karmaşık Evolasyon (SCE), Karmaşık Mantık ve Yapay Sinir Ağları) içerir (Tunok, 1999).

1.2. Dinamik Programlama

Dinamik programlama, ilk olarak BELLMAN (1957) tarafından geliştirilmiş ve çoğunlukla su kaynakları planlaması ve yönetimi üzerine, bilhassa çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesinde kullanılan optimizasyon tekniklerinden birisidir, (Yakowitz, 1982). Dinamik programlama (DP), barajlardan oluşan bir su kaynakları sisteminde optimizasyon problemlerinin ardışık karar yapısını müessir bir biçimde ele alabilmektedir. Yine, Bellman ve Dreyfus (1962), çok boyutlu sistemlerin dinamik programlama ile optimizasyonu için lagranj arpanları ve ardışık yaklaşım yöntemini önermişlerdir. Ayrıca, ayırık dinamik programlama' yı (DDP) geliştirerek işlem sayısını azaltma yolu ile hesaplama kolaylığı sağlamaya çalışmışlardır (Nopmongcol ve Askew, 1976).

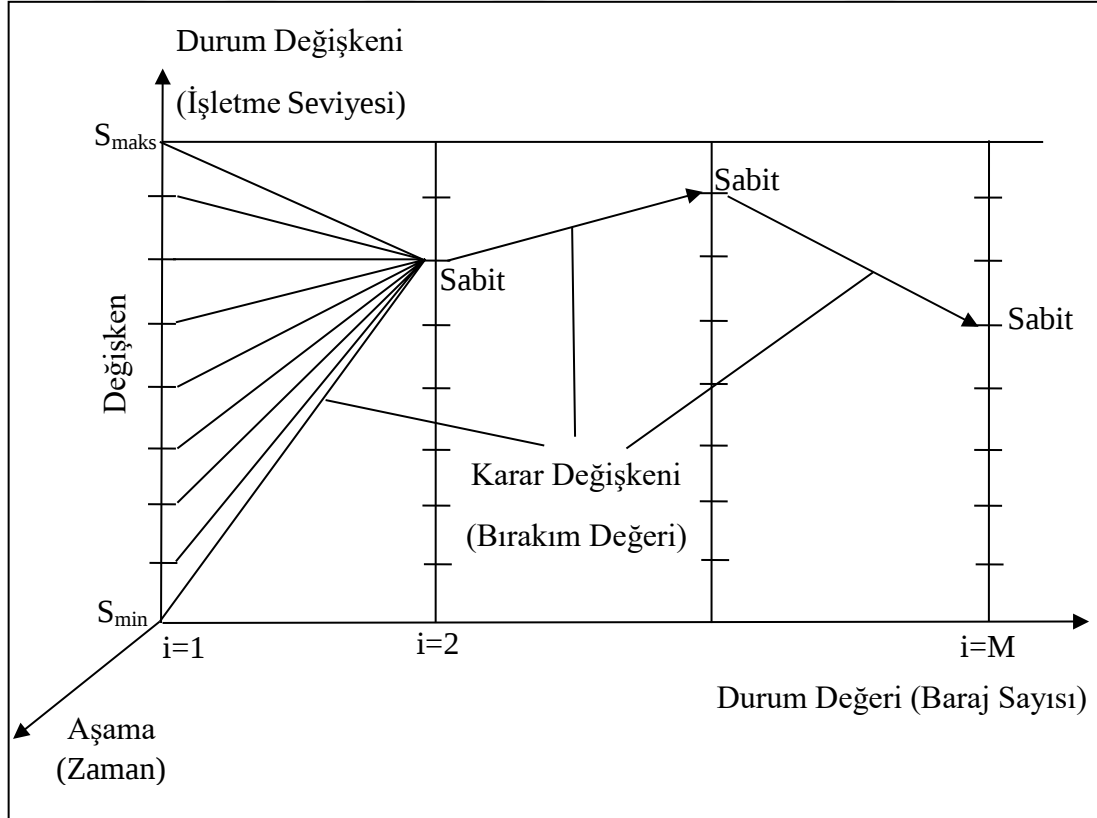
Dinamik programlamada üç değişken türü vardır. Bunlar;

1. Sistemin davranımını aynen tanımlayan ve sistemin herhangi bir andaki durumunu gösteren durum değişkenleri, ((x), barajın işletme seviyesidir.)
2. Seçilen bir hedefe göre sistemin kontrol edilebilir girdileri üzerine karar vermeyi sağlayan karar değişkenleri, ((d), barajdan enerji üretimi için bırakılan su miktarıdır.)

3. Bu kararların verildikleri aralıkları tayin eden aşama değişkenleri, ((t), zamanı göstermektedir.)

şeklindedir. Bu girdilerin bazı kısıtlara bağlı olarak aldıkları değer takımına politika denilmektedir. Bu politikanın sistemin çıktıları üstüne etkisini belirleyen ölçüt ise, amaç fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

Çok barajlı su kaynakları sisteminde, aşama olarak zaman, durum değeri olarak baraj, durum değişkeni olarak barajdaki işletme seviyesi, karar değişkeni olarak barajdan enerji üretimi için bırakılan su miktarı tanımlanmaktadır. Herhangi bir barajdaki durum değişkeni o barajın maksimum ve minimum işletme seviyeleri arasında değerler almaktadır. Karar değişkeni ise, barajdan enerji üretimi için bırakılacak su miktarı ile sınırlanmaktadır. Her aşamada her durum değişkenine ait en iyi karar, hedeflenen amaç fonksiyonuna göre belirlenebilmektedir. Çoklu baraj sisteminin dinamik programlama ile işletilmesine ait şematik gösterimi Şekil 1.1' de gösterilmektedir (Opan, 2007).



Şekil 1.1. Dinamik programlamada herhangi bir aşamasındaki durum değeri ve durum-karar değişkeninin şematik gösterimi

Şekil 1.1’ de yatay eksen aşama olarak zamanı ($t=1,2,3,\dots$), düşey eksen durum değerini, düşey eksenindeki aralıklar durum değerine ait durum değişkenlerini, iki durum değeri arasındaki çizgiler ise enerji üretimi için bırakılan su miktarları olarak karar değişkenlerini göstermektedir. İşletme seviyesi, maksimum ve minimum işletme seviyeleri arasında istenen duyarlılığa göre eşit aralıklı durumlara ayrılmaktadır. İki durum değeri arasındaki süreklilik, su dengesi ilişkisiyle sağlanmaktadır. Su dengesi ilişkisi Denklem (1.1)’ deki gibi;

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - B_{i,t} \quad (1.1)$$

şeklindedir. Burada,

$S_{i,t}$: i-barajında t-zamanda depolanan su miktarı

$F_{i,t}$: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım miktarı

$Q_{i,t}$: i-barajından t-zamanda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı

$R_{i,t}$: i-barajında t-zamanda dolu savaktan bırakılan akım miktarı

$B_{i,t}$: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı

olarak tanımlanmaktadır.

Çok amaçlı çok barajlı su kaynakları sisteminin işletmesinde dinamik programlama ile yapılan çalışmalar iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar;

1. Deterministik dinamik programlama
2. Stokastik dinamik programlama

şeklinde olup, burada deterministik dinamik programlamanın gelişimi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların neticesinde, deterministik dinamik programlama teknikleri,

1. Artırımlı dinamik programlama (IDP)
2. Farksal dinamik programlama (DDP)
3. Ayrık farksal dinamik programlama (DDDP)
4. Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA)
5. Ardışık yaklaşırmalı artırımlı dinamik programlama (IDPSA)
6. Çok-seviyeli artırımlı dinamik programlama (MIDP)

olarak göz önüne alınabilir (Opan, 2007).

Deterministik dinamik programlamada ilk çalışma Young (1967) tarafından yalnız bir baraj işletmesinde kullanıldığı görülmektedir (Yakowitz, 1982). Young (1967) baraj hacmini durum parametresi olarak kullanmıştır. Benzer bir çalışma Hall ve diğ. (1969) tarafından Kaliforniya'da Shasta Barajı'nda tatbik edilmiştir. Larson (1968) hafıza kullanımı ve işlem sayısını düşürmek için IDP modelini önermiş ve dört barajlı bir sisteme Bellman ve Dreyfus (1962) 'un ardışık yaklaştırmayı kullanarak tatbik etmiştir. Hall ve diğ. (1969) 'da evvelki çalışmasını enerji faydası, güvenilir su, taşkın kısıtı gibi ilavelerle geliştirmiştir. Roefs ve Bodin (1970) yöntemi birden fazla baraja sahip sistemlere tatbik etmiştir. Heidari ve diğ. (1971) ise dört barajlı bir sistemde işlem sayısını düşürmeye yönelik DDDP modelini geliştirmiştir. Esasında DDDP yöntemi IDP yönteminin genelleştirilmiş şeklidir. IDP yönteminde her evrede (zaman periyodunda) sabit olan durum artımları, DDDP yönteminde her evrede farklı olarak alınmıştır. Larson (1968) tarafından geliştirilen IDPSA daha sonra Trott ve Yeh (1971), Yeh ve Trott (1972), ve Giles ve Wunderlick (1981) tarafından çok barajlı sistemlere tatbik edilmiştir. Nopmongcol ve Askew (1976) IDP yöntemini yine çok baraj ve çok amaçlı sistemler için geliştirerek MIND yöntemini önermiştir. Yakowitz (1982), Yeh (1985) su kaynaklarında kullanılan optimizasyon yöntemlerini karşılaştırarak IDPSA yönteminin çok barajlı havza sistemlerinde kullanılabilecek en iyi yöntemlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Sert (1982) bir akarsu üzerindeki bir seri hidroelektrik tesisin optimal boyutlandırma ve işletmesi çalışmasında ve Sert ve diğr. (1983) Sakarya Havzası' nın enerji üretimini maksimize etmek için DPSA tekniğini benzetim yöntemleriyle beraber kullanmıştır. Sert (1986) havza planlamasında genel amaçlı sistem yaklaşımı tanımlamıştır. Sert (Eylül 1987 ve Haziran 1987) su kaynakları planlamasında sistem optimizasyonunun gerekliliğini önemle belirtmiştir. Karamouz ve diğ. (1992) Baltimore yakınında Gunpowder Havzası'nda çok barajlı bir su kaynakları sistemine DDP'yi uygulamıştır. Yurtal (1993, 1995) çok barajlı sistemlerinin enerji optimizasyonu için IDPSA tekniğini, Türkiye'de, Seyhan Havzası'ndaki çok barajlı sisteme başarıyla uygulamıştır.

Duranyıldız ve diğ. (1999), yaptıkları çalışmada bir şans kısıtlı doğrusal programlamayla gerçek zamanlar için aylık optimum rezervuar işletmesini belirlemişlerdir. Daha sonra bu yöntemden elde edilmiş sonuçları dinamik programlama modeli sonuçlarıyla mukayese etmişlerdir.

Duranyıldız ve diğ. (2000), dinamik programlama yöntemini kullanarak İstanbul içme su temini sisteminin optimum işletme politikasını belirlemişlerdir.

Johes ve diğ. (1986) DDP yaklaşımını Kuzey California' da Mad Akarsu sisteminin ISO' su içine uygulamışlardır. Araştırmacılar, çok barajlı sistemlerde, LP algoritmasının DDP algoritmasının bilgisayar işlem zamanına karşılık olarak 16 kat zamana ihtiyaç duyduğuna dikkat çekmişlerdir. Yoo (2009) lineer programlama yaklaşımı ile modelin duyarlılığını ve etkinliğini analizleyen hidroelektrik enerjisi üretimini en büyükleyen bir çalışma hazırlamıştır.

Jothiprakash ve Arunkumar (2013) tarafından yapılan çalışmanın amacı, bir NLP modeli kullanarak hidroelektrik enerji üretimini en üst seviyeye çıkarmak ve sulama ihtiyaçlarını karşılamak için çok sayıda hidroelektrik santrali içeren çoklu rezervuar sistemini en iyilemekti. NLP modeli, hidroelektrik enerji üretimini en büyükmek için Koyna Hidroelektrik Projesine (KHEP) uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen neticeler, eniyileme kısıtlarının daralmasıyla hidroelektrik enerji üretimini arttırabileceğini ve en iyi salınımların uzun çalışma periyodu boyunca talebi karşılayabileceğini göstermiştir.

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

Akımların stokastik özelliklerini de dikkate alan Stokastik Dinamik Programlama (SDP) modelinin ilk olarak baraj işletmesine uygulanması 1946'da Maas ve 1955'de Little tarafından yapılmıştır, (Yakowitz, 1982).

Ponnambalam ve Adams (1996)' da Archibald ve diğ. (1997)' de SDP' de durum değişkenlerinin bırakım politikalarının etkileri üstüne çalışmışlardır. Braga ve diğ. (1991) ile Sherkat ve diğ. (1985)' nin yaptığına benzer bir yaklaşımı Brezilya'da Sao Paulo' da Energetica çok barajlı bir su kaynakları sistemine uygulamış ve akımların aralıklı korelasyonlarını hesaplamaya çalışılmıştır. Fakat, kullanılan yaklaşım önemli baraj bırakım kararları, barajlara gelebilecek aylık akımlar bilinmeden genel işletme kuralları oluşturulamadığından kullanıma uygun bulunmamıştır.

Labadie (2004) işletmedeki mevcut çoklu hazne sistemlerinde en yüksek verimi almak için bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmanın amacı, haznelerin yüksek boyutlu, dinamik, doğrusal olmayan ve olasılıksal özelliklerinin üstesinden gelmek için hazne sistemi eniyilemesindeki en gelişmiş teknolojiyi detaylı olarak incelemektir. Eniyileme sıralı hazne işletmesine uygulanabilmesine karşın, bu çalışma ile uygulamanın sadece karar değişkenlerinin sistem geliştirme açısından ele alınması ile iyileştirilebileceğini belirlemiştir.

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

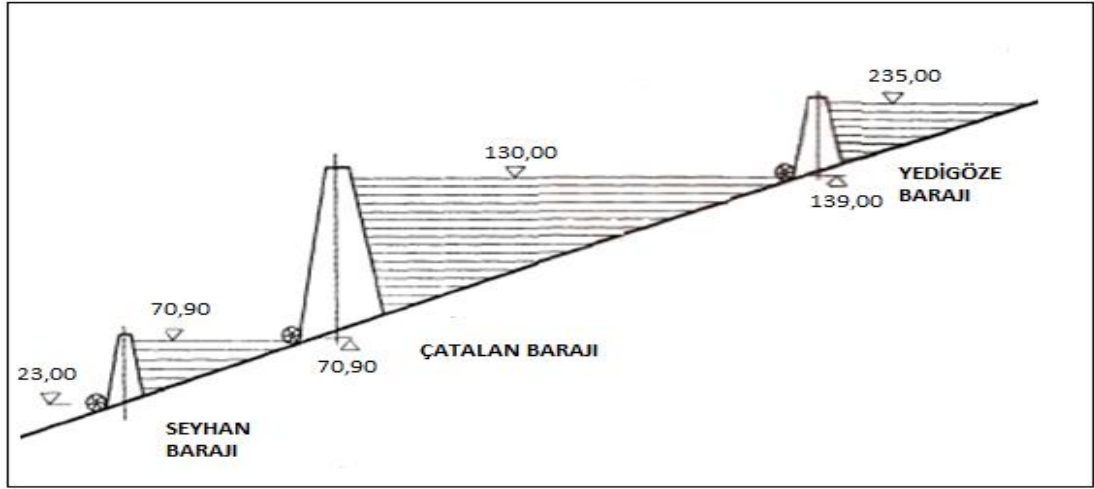
Wang ve diğ. (2013) yapılan çalışmada 2004 (17 Temmuz-15 Ağustos) ve 2005 (8-27 Ağustos) yılındaki Baishan-Fengman rezervuar sisteminde sel olayları kullanmışlardır. Sayısal hava tahminleri (NWP's) çıkışları (kısa tahmin) kullanılarak sel mevsiminde çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Model, Kuzeydoğu Çin'in Baishan-Fengman çoklu rezervuar sistemine tatbik edilmiştir.

Li X ve diğ. (2014) çoklu rezervuar sisteminin ortak çalışmasını optimize etmek için paralel dinamik programlama algoritmasını geliştirmişlerdir. Paralel DP algoritması Çin'deki gerçek dünyadaki beş rezervuar sistemine tatbik etmişlerdir. Sunulan metodolojinin paralel verimliliğini ve pratik faydasını göstermişlerdir.

Ji ve diğ. (2017) Yalong Nehri'ni konu alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. DP'ye dayalı olarak çok aşamalı Dinamik Programlama (MSDP) adlı yeni geliştirilmiş bir DP önermişlerdir. MSong ile SCROO problemini çözmek için Yalong nehri havzasındaki Jindong ve Guandi'den oluşan kademeli hidroelektrik santrallerini örnek olarak almışlardır. MSDP ve DP'nin operasyon sonucunu daha kolay işlemeye karşılaştırarak, MSDP'nin operasyon stratejisi, DP'lerin fiili operasyonundan daha verimli olduğunu göstermişlerdir.

Bacaksız (2018) Yeşilirmak Havzası' nı konu alan bir çalışma gerçekleştirmiştir. DPSA' yı kullanarak, birbirine çeşitli şekillerde bağlanmış barajlardan oluşan bir su kaynakları sistemini bütün değişkenleri ile matematiksel olarak tanımlamış ve uzun süreli işletme modelini çeşitli senaryolarla ele almıştır.

Al-Janabi (2018) Orta Sakarya Nehri üzerindeki çoklu barajlara ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniğini kullanmış, Hec-5 simülasyonu ile karşılaştırmış ve kurulan optimizasyon modelinin daha iyi sonuç verdiğini görmüştür.



Şekil 2.2. Ana kol üzerindeki barajlar

Bir i-baraj haznesi için su dengesi ilişkisi Denklem (2.1)'deki gibi;

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = X_{i,t} - Y_{i,t} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$X_{i,t}$: i- barajına t zamanda giren akımlar

$Y_{i,t}$: i- barajına t zamanda çıkan akımlar

$\frac{\Delta S_i}{\Delta t}$: i- barajında depolanan su miktarının değişimi

olarak tanımlanmıştır. ($i=1,2,\dots,M$: baraj sayısı, $t=1,2,\dots,KM$: Dönem sayısı). Buradan,

$$X_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} \quad (2.2)$$

$$Y_{i,t} = Q_{i,t} + R_{i,t} + B_{i,t} \quad (2.3)$$

olarak gösterilirse, burada,

$S_{i,t}$: i- barajında t-zamanda depolanan su miktarı

$F_{i,t}$: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım miktarı

$Q_{i,t}$: i-barajından t-zamanda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı

$R_{i,t}$: i-barajında t-zamanda dolu savaktan bırakılan akım miktarı

$B_{i,t}$: i-barajından t-zamandaki buharlaşma kaybı

olarak tanımlanabilir. Eğer $\Delta t = 1$ birim (ay veya saat) olarak alındığında, su dengesi ilişkisi Denklem (2.4) ve (2.5)'deki gibi;

$$\Delta S_i = S_{i,t+1} - S_{i,t} \quad (2.4)$$

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - B_{i,t} \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buna göre her bir barajda depolanmış su miktarı Denklem (2.6)' deki gibi;

$$S_i^{\text{Min}} \leq S_{i,t} \leq S_i^{\text{Maks}} \quad (2.6)$$

arasında olmakta ve,

S_i^{Min} : i-barajında depolanan minimum su miktarını

S_i^{Maks} : i-barajında depolanan maksimum su miktarını

göstermektedir. Buna göre, barajdan bırakılan akımlar Denklem (2.7) ve (2.8)' deki gibi;

$$0 \leq Q_{i,t} \leq Q_i^{\text{Maks}} \quad (2.7)$$

$$0 \leq R_{i,t} \leq R_i^{\text{Maks}} \quad (2.8)$$

olmaktadır. Burada,

Q_i^{Maks} : i-barajında enerji üretimi için bırakılabilecek maksimum su miktarını

R_i^{Maks} : i-barajında dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarını

göstermektedir.

Barajlardan bırakılan akımların toplamına alt ve üst sınırlar tanımlanabilir.

$$W_{i,t} \leq (Q_{i,t} + R_{i,t}) \leq W_i^{\text{Maks}} \quad (2.9)$$

arasında olup, burada,

$W_{i,t}$: i-barajında t-zamanda akarsu yatağına bırakılması gereken minimum su miktarı (sulama, kirlilik kontrolü, ulaşım gibi amaçlar gözetilerek),

W_i^{Maks} : i-barajında akarsu yatağına bırakılabilecek maksimum su miktarı (taşkın kontrolü için emniyetli akım),

olarak tanımlanmaktadır.

Her bir barajda enerji üretimi için t-zamanda i-barajında elde edilen ortalama güç Denklem (2.10)' daki gibi;

$$P_{i,t} = k_i \cdot Q_{i,t} \cdot h_{i,t} \quad (2.10)$$

olup,

$$P_{i,t} \leq P_{ki}$$

olmalıdır. Burada, P_{ki} , i-barajı için kurulu güç, k_i enerji üretim katsayısı ve $h_{i,t}$ i-barajında t-zamandaki ortalama net düşüdüür.

Barajlardaki ortalama su yüksekliğı Denklem (2.11)' deki gibi;

$$h_{i,t}^* = h \left(\frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2} \right) \quad (2.11)$$

şeklinde (ortalama depolanmış su miktarının bir fonksiyonu olarak) elde edilmektedir. Cebri boru sürtünme kayıpları dikkate alındığında Denklem (2.12)' deki gibi;

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - (h_f)_{i,t} \quad (2.12)$$

olmakta ve buradan Denklem (2.13);

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - dk_i \cdot Q_{i,t}^2 \cdot l_i \quad (2.13)$$

yazılmaktadır. Burada,

$h_{i,t}^*$: Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliğı

$(h_f)_{i,t}$: i-barajında t-zamandaki sürtünmeden dolayı yük kaybı

dk_i : i-barajında tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağılı bir katsayı

l_i : i-barajında taşıma tüneli uzunluğu

olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli

Çok amaçlı çok barajlı su kaynakları sisteminde uzun süreli planlama yaklaşımında, zaman adımları olarak aylar kullanılmaktadır. Sistemin verilen boyutları için, ardışık yaklaşıtırmalı dinamik programlama (DPSA) modeli ile aylık kurak dönem akımları kullanılarak güvenilir gücü enbüyükleyecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) belirlenmektedir. Burdan çıkarılan güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılıp, aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Nor}$) bulunmaktadır. Bunun için, modelde, amaç fonksiyonu, iki kriterli olarak ele alınmaktadır.

1. Kurak dönemin aylık akımları ile güvenilir gücün enbüyüklenmesi Denklem (2.14)' deki gibi;

$$\text{Max.}(\text{min.} \sum_{i=1}^M P_{i,t}) \quad (2.14)$$

Burada, $t=1,2,3 \dots KM$, KM : Kurak dönem ay sayısını ifade etmektedir.

2. Aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin enbüyüklenmesi Denklem (2.15) ve (2.16)' daki gibi; (P_G =sabit)

$$\text{Max.} \left(\sum_{t=1}^{KM} [P_{i,t} - P_G \cdot p_s] + P_G \cdot p_G \right), (KM=12 \text{ ay}) \quad (2.15)$$

$$(\text{Max.} \sum_{t=1}^{KM} \sum_{i=1}^M P_{i,t} \text{ ile eşdeğer})$$

$$\sum_{i=1}^M P_{i,t} \geq P_G \quad (2.16)$$

şeklindedir. Burada,

P_G :Eniyilenmiş güvenilir gücü,

p_G :Güvenilir enerji birim fiyatını,

p_s :Sekonder enerji birim fiyatını,

göstermektedir. Güvenilir güç (P_G), kurak dönemin aylık akımları kullanılarak belirlenmekte ve aylık ortalama akımlara göre sekonder enerjinin enbüyüklenmesi ile toplam enerjinin enbüyüklenmesi sağlanmış olmaktadır.

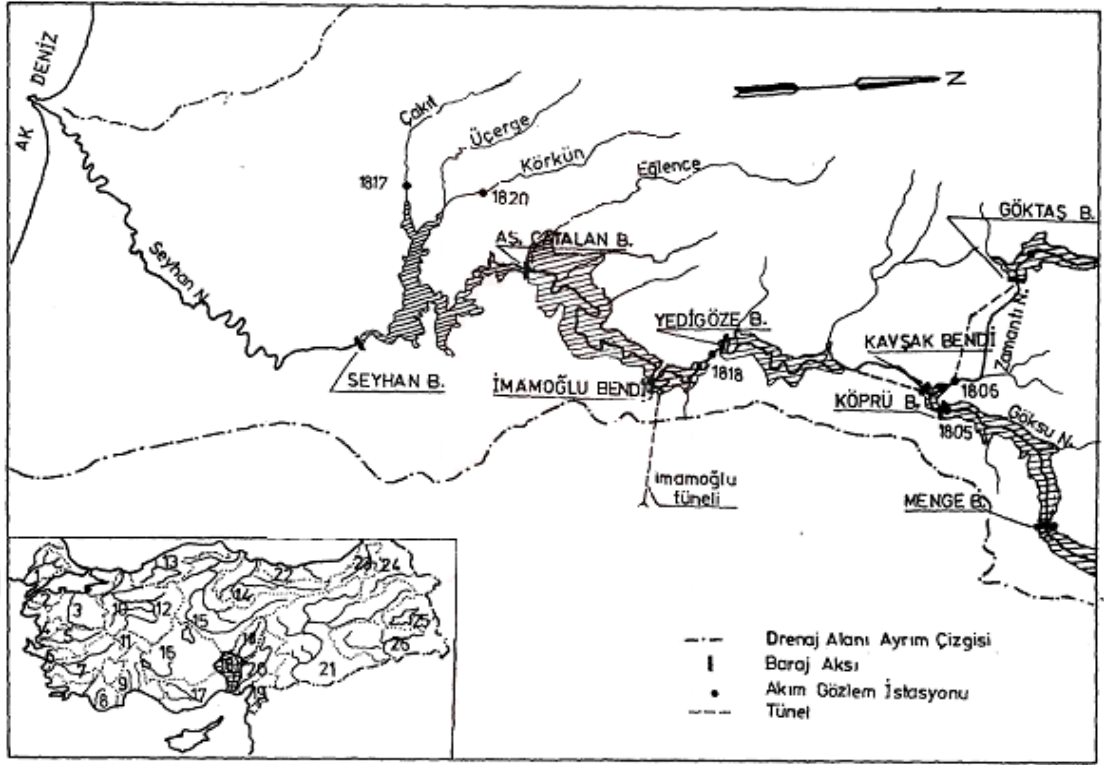
3. SEYHAN HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ

3.1. Giriş

Seyhan havzası, Seyhan Nehri boyunca Sivas'tan Doğu Akdeniz'e doğru uzanan 2.203.544 ha'lık bir alana yayılmakta ve havza alanı 22.035 km² ile Türkiye'nin yüzölçümünün %2,07'sini oluşturmaktadır. Seyhan Havzası'nın orta ve aşağı bölümü Akdeniz Bölgesi'nde, yukarı bölümü İç Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Havza, doğudan Ceyhan ve Fırat Havzaları; batıdan Kızılırmak, Konya, Doğu Akdeniz ile komşudur. Göksu Nehri ile Zamantı Irmağının birleşmesiyle oluşan Seyhan Nehrine daha sonra sırasıyla Eğlence, Körkün, Üçürge ve Çakıt Dereleri katılır. Adana'nın içinden geçer ve bu kenti Yüreğir ve Seyhan isimli iki ilçeye böler, 60 km sonra Tarsus Çayı ile birleşerek (Tarsus'un 20 km güneyinde) Çukurova'nın en batı kesiminde, Adana-İçel sınırında, Deli Burnu'nda Akdeniz'e dökülür.

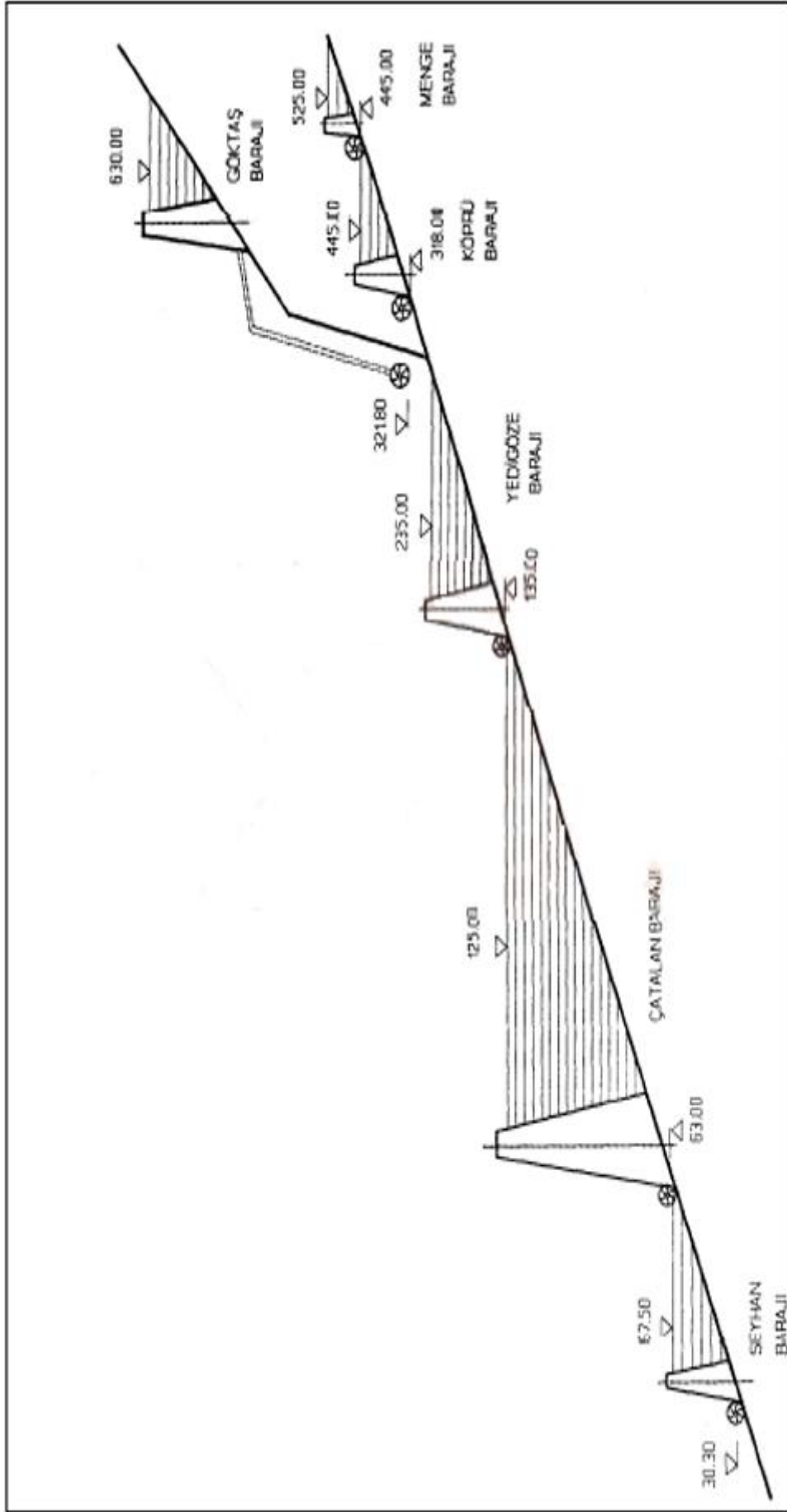
İklim bakımından üç farklı kesimi olan Seyhan havzasında, kıyı kesiminde kışlar ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kuraktır. Havzanın kuzeyi ise kışlar soğuk ve yağışlı, yazlar sıcak ve kurak iklim tipinin egemen olduğu kesimlerdir. Seyhan havzasında kurak kuzey kesimi ile kıyı kesimi arasında kalan ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan Toroslar'ın bulunduğu kesim ise diğer bölgelerden farklı olarak daha soğuk ve daha yağışlıdır. En yağışlı kesim ise havzanın yüksek olan orta bölümüdür. Seyhan Havzası'na gelen yıllık ortalama yağış miktarı 624 mm'dir. Havzanın Akdeniz iklimi niteliğinde olan alt kısımlarında yıllık ortalama sıcaklık 18 derece, üst kesimlerinde ise 8 derecedir.

Seyhan Nehri, Türkiye'nin Akdeniz'e dökülen ırmakların en önemlisi ve en büyüğüdür. Uzunluğu iki önemli kolu olan Zamantı ve Göksu Irmakları başta olmak üzere tüm kollarıyla beraber 560 km'dir. Seyhan Havzası'nın görünüşü, ana ve tali kolları, bu kollar üzerinde bulunan barajlar, akım gözlem istasyonlarının bulunduğu yerler, Şekil 3.1' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Seyhan Havza'sının şematik görünüşü (Yurtal R., 1993)

Seyhan Nehri ana kolu ve tali kolları üzerinde birçok baraj bulunmaktadır. Ana kolu üzerinde birbirine seri olarak bağlı bulunan barajlar, sırasıyla, Yedigöze, Çatalan, Seyhan barajlarıdır. Tali kolu üzerinde bulunan barajlar ise Göktaş, Menge, Köprü, barajlarıdır. Bu barajlardan Köprü enerji amaçlı; Yedigöze, Menge ve Göktaş enerji ve sulama amaçlı; Seyhan ve Çatalan enerji, sulama ve taşkın koruma amaçlı olarak planlanmıştır. Şekil 3.2'de, Seyhan Havzası'nda Seyhan Nehri ana ve tali kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü gösterilmektedir. Ana kol üzerindeki barajlara ait veriler ise Tablo 3.1' de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2 Seyhan Havzası'nda Seyhan Nehri ana ve kolları üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü (Yurtal R., 1993)

Tablo 3.1. Seyhan Havzası’ nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağılı bulunan barajlara ait veriler (DSI, 2017)

Barajlar	Yedigöze	Çatalan	Seyhan
Yağış Alanı (km ²)	588,7	15387	18976
Amaç	Sul.+En.	En.+Sul+Taş.	En.+Sul+Taş.
Kurulu Güç (MW)	310,66	168,90	60
Baraj Yüksekliği (m)	130	82	54
Maksimum İşletme Seviyesi (m)	235	130	70,90
Minimum İşletme Seviyesi (m)	210	115	49
Maksimum Hacim (10 ⁶ m ³)	642	2555	1090
Minimum Hacim (10 ⁶ m ³)	342	1600	165
Kuyruk Suyu Kotu (m)	139	70,90	23
Dolu Savak Kapasitesi (m ³ / sn)	9999	9999	2560
Enerji Üretimi Kapasitesi (m ³ / sn)	380	360	231
Aylık Maksimum Akım (m ³ /sn)	324,98	333,09	372,39
Aylık Minimum Akım (m ³ /sn)	2,26	36,61	12,84
Aylık Ortalama Akım (m ³ /sn)	105,74	116,55	134,78

Barajlara ait resimler sırasıyla, Şekil 3.3, 4, 5’te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Yedigöze Barajı’nın görüntüsü



Şekil 3.4. Çatalan Barajı'nın görüntüsü

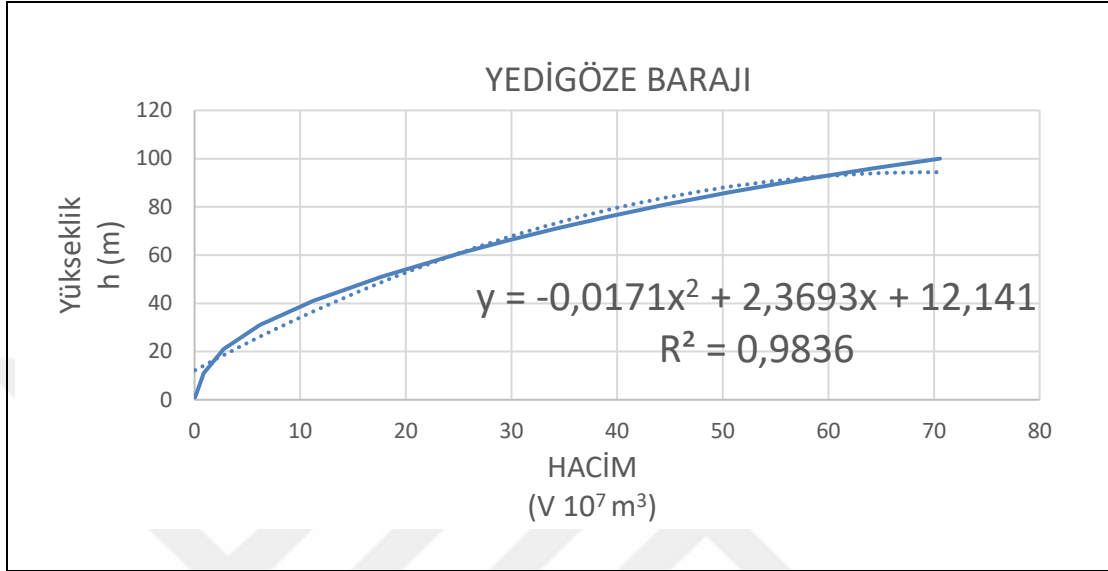


Şekil 3.5. Seyhan Barajı'nın görüntüsü

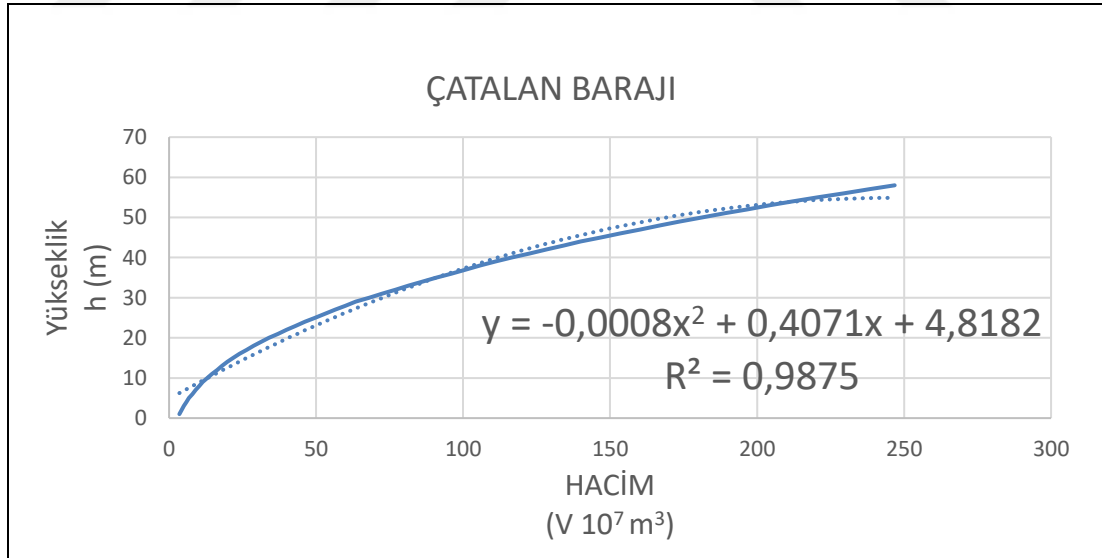
3.2. Yükseklik- Hacim İlişkileri

Enerji üretimi barajdaki su yüksekliğine ve türbinden çıkan akıma bağlı olarak elde edilmektedir. Bundan dolayı, barajda işletme seviyesine gelen su yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Buradan, Seyhan Havzası'nda, Seyhan Nehri'nin ana kolu üzerinde bulunan çok barajlı su kaynakları sisteminde barajlara ait hacim (depolanmış su miktarı), yükseklik eğrileri çizilmiştir. Bu eğriler için $h=a.V^2+b.V+c$ şeklinde tanımlanan denklemin regresyon analizi yapılarak a, b ve c

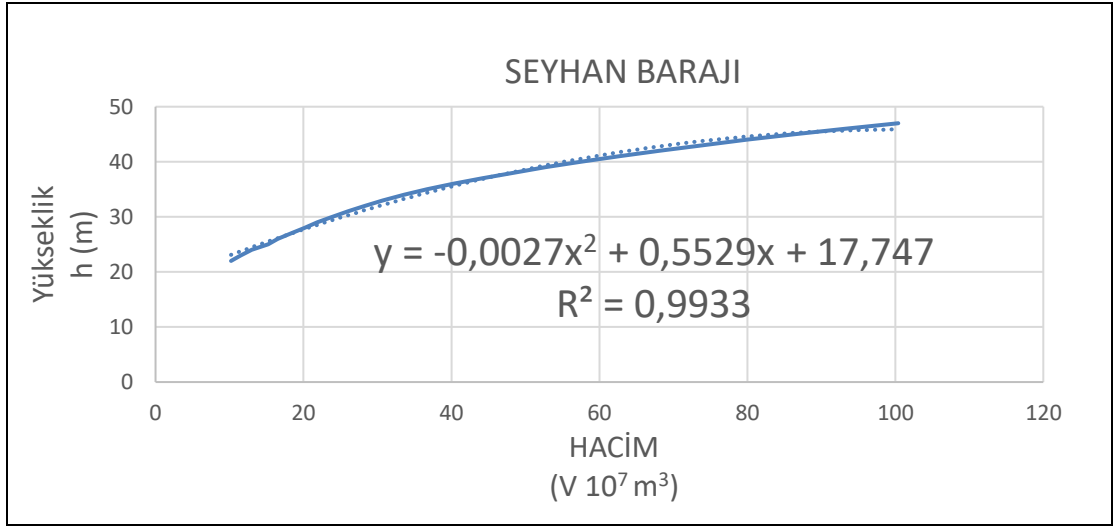
katsayıları ile R^2 regresyon katsayısının değerleri belirlenip, grafik üzerine işlenmiştir. Her bir baraja ait yükseklik hacim eğrileri ve denklemleri sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Yedigöze Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 3.7. Çatalan Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 3.8. Seyhan Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

3.3 Barajlara Gelen Akımlar

2012'den 2018 tarihine kadar olan akım gözlem değerleri baraj akslarına taşınmış değerler olarak m³/s boyutunda düzenlenmiştir.

Bu akım gözlem değerleri kullanılarak 2012-2018 yıllarına göre aylık ortalama akımlar elde edilmiştir. Her bir barajdaki aylık ortalama akım değerleri, Tablo 3.2' de ve Şekil 3.9' da gösterilmektedir.

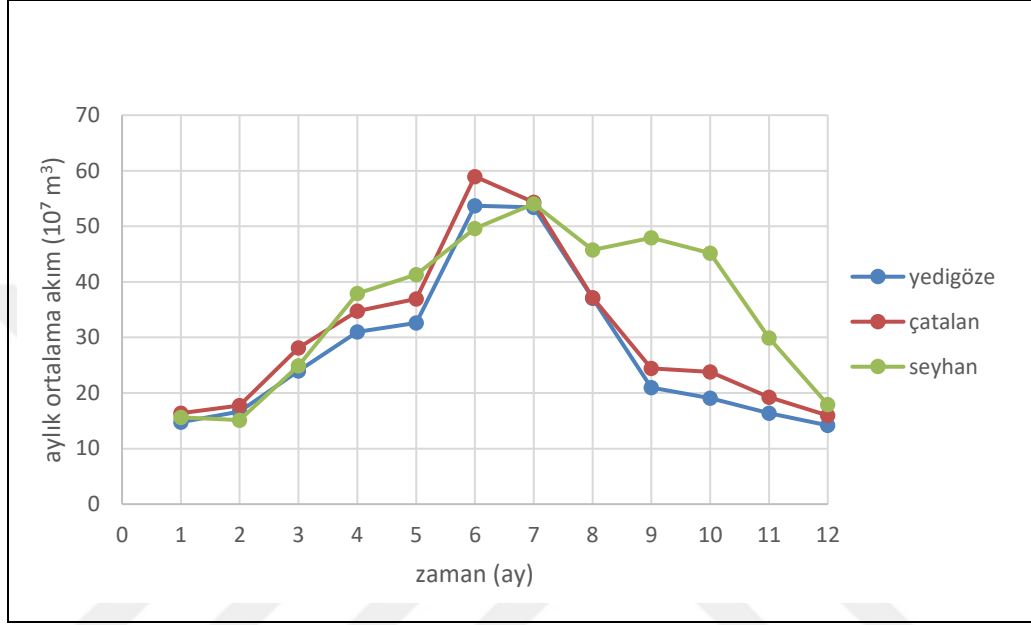
Tablo 3.2. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (10^6 m^3)

Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağustos	Eylül	Toplam
Yedigöze	147,48	166,74	239,67	310,03	325,97	537,02	533,85	370,38	209,65	190,70	163,51	141,76	3336,75
Çatalan	163,77	177,79	280,99	347,62	369,17	589,62	542,99	371,67	244,25	238,10	192,42	159,50	3677,89
Seyhan	156,82	151,49	248,95	379,02	412,84	496,28	540,38	457,86	478,73	451,70	299,20	179,84	4253,11

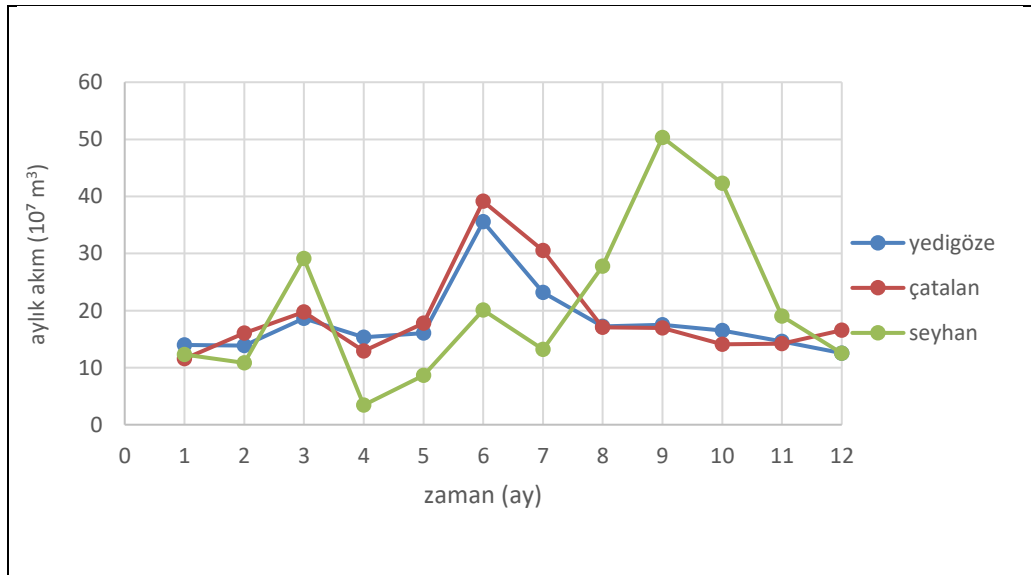
Tablo 3.3. 2014 yılı kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10^6 m^3)

Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağustos	Eylül	Toplam
Yedigöze	139,90	138,89	186,27	153,00	160,68	355,44	231,62	172,51	175,32	165,18	146,08	125,42	2150,31
Çatalan	115,42	160,74	197,42	129,29	177,70	391,30	305,27	170,48	169,53	140,70	142,07	165,58	2265,47
Seyhan	123,02	108,33	291,15	34,38	86,38	201,03	131,93	277,82	503,34	422,99	190,12	125,19	2495,66

2012 ile 2018 yılları arasında gelen toplam akımlar gözetilerek kuraklık açısından kritik dönem belirlenmiştir. Buna göre, kritik dönem olarak, 2014 yılı seçilmiştir. Bu kritik dönemde her bir baraja ait aylık akım gözlem değerleri Tablo 3.3 ve Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar



Şekil 3.10. Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar

4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

4.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

4.1.1. Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modele giren veriler

Güvenilir gücün en büyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletmede, modele giren veriler:

1. Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
2. Tablo 4.1’ de, barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar
3. Tablo 4.2’ de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
4. Tablo 4.3’ de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım

şeklinde verilmektedir.

Kurak dönemin aylık akımları ile yapılan uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, güvenilir güç enbüyüklenecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmeye çalışılmaktadır.

Tablo 4.1. Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar

Barajlar (10^7 m^3)	AYLAR											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	14	14	19	15	16	36	23	17	18	17	15	13
Çatalan	12	16	20	13	18	39	31	17	17	14	14	17
Seyhan	12	11	29	3	9	20	13	28	50	42	19	13

Tablo 4.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	Yedigöze	Çatalan	Seyhan
$S_i^{\text{Maks}}(10^7 \text{ m}^3)$	34	160	17
$S_i^{\text{Min}}(10^7 \text{ m}^3)$	64	256	109

Tablo 4.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım

Barajlar	Yedigöze	Çatalan	Seyhan
$Q_i^{Maks}(10^7 \text{ m}^3 / \text{sn})$	105	124	41

4.1.2. Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

1. Güvenilir güç, $P_G=148,30$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=168,55$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}= 382,27$ MW ve yinleme sayısı, $ICOUNT= 15$
2. Tablo 4.4’ de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları
3. Tablo 4.5’ de, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları
4. Tablo 4.6’ da, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri
5. Tablo 4.7’ de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri
6. Şekil 4.1’ de, barajlardaki, aylık minimum işletme seviyeleri
7. Şekil 4.2’ de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.4. Barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

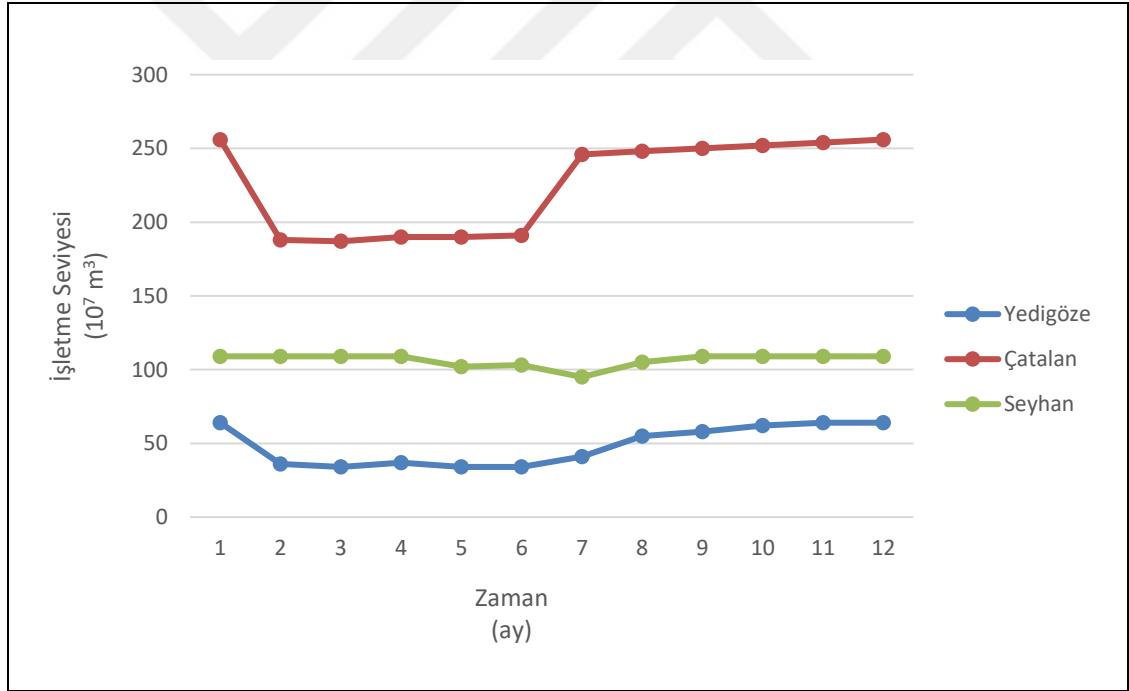
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	42	16	16	18	16	29	9	14	14	15	15	13
Çatalan	122	33	33	31	33	13	38	29	29	27	27	30
Seyhan	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41

Tablo 4.5. Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çatalan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seyhan	93	3	21	0	0	0	0	12	38	28	5	2

Tablo 4.6. Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

Barajlar (10^7 m3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	64	36	34	37	34	34	41	55	58	62	64	64
Çatalan	256	188	187	190	190	191	246	248	250	252	254	256
Seyhan	109	109	109	109	102	103	95	105	109	109	109	109

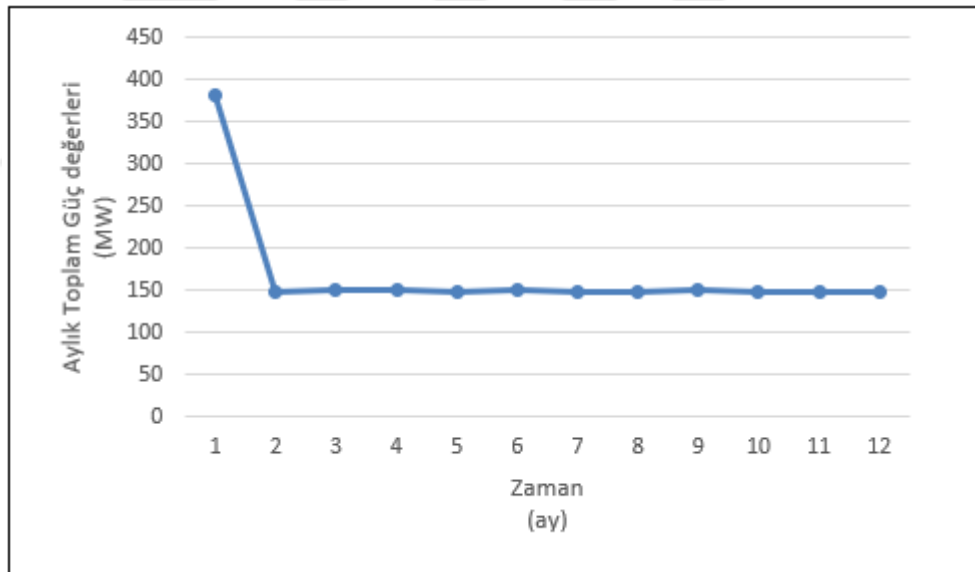


Şekil 4.1. Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

Aylık minimum işletme seviyeleri incelendiğinde, optimizasyon sürecini kontrol eden ve yöneten büyük hacimli Çatalan Barajı olduğu görülmüştür.

Tablo 4.7. Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	Yedigöze	Çatalan	Seyhan	MW
Ekim	114,20	209,96	58,12	382,27
Kasım	36,66	54,05	58,12	148,83
Aralık	37,23	54,16	58,12	149,51
Ocak	41,89	50,98	58,22	151,09
Şubat	36,07	54,37	58,27	148,70
Mart	69,47	22,31	58,23	150,01
Nisan	24,08	66,33	58,25	148,66
Mayıs	39,73	50,64	58,20	148,57
Haziran	40,22	50,65	58,12	148,99
Temmuz	43,48	47,17	58,12	148,77
Ağustos	43,58	47,17	58,12	148,87
Eylül	37,77	52,41	58,12	148,29



Şekil 4.2. Kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kritik dönemin aylık akımları ile güvenilir güç enbüyüklenmekte ve güvenilir güç $P_G=148,30$ MW olarak elde edilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nde barajların güvenilir gücün bulunması için Denklem (4.1)' deki gibi; (III. DSİ Hidroloji Semineri, 1979)

$$P_G = 3,08 \cdot 10^{-3} \left(\frac{V_a}{L} + q_{\min} \right) (h_{\min} + \frac{2}{3} h_a) \quad (4.1)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Burada;

V_a :Aktif hacim (10^6 m^3)

L : Kurak dönem ay sayısı (12 ay)

$q_{\min}$: Minimum aylık akım (10^6 m^3)

$h_{\min}$: Hidroelektrik santral (:HES) üzerindeki minimum yükseklik (m)

h_a : Aktif hacim yüksekliği (m)

göstermektedir.

Tablo 4.8. Seyhan Havza' sındaki sisteme ait barajların güvenilir güç değerleri, P_G , (MW)

Barajlar	V_a (10^6 m^3)	$q_{\min}$ (10^6 m^3)	$h_{\min}$ (m)	h_a (m)	P_G (MW)
Yedigöze	300	5,86	71	25	8,33
Çatalan	955	94,89	44	15	29,02
Seyhan	925	33,28	26	22	13,82
Toplam					51,17

Tablo 4.8'de bu yaklaşım kullanılarak barajlara ait güvenilir güç değerleri verilmektedir. Buna göre sistemdeki toplam güvenilir güç $P_G=51,17$ MW olmaktadır. Buradan, bu model ile elde edilen güvenilir güç $P_G=148,30$ MW, Denklem (4.1) kullanılarak elde edilen güvenilir güçten %190 daha büyüktür.

4.1.3. Toplam enerjinin en büyükleme modeline giren veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli planlamaya göre işletme optimizasyonunda modele girilen veriler:

1. Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
2. Tablo 4.9' da, barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar
3. Tablo 4.2' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
4. Tablo 4.3' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım

şeklinde verilmektedir.

Aylık ortalama akımlar ile yapılan uzun süreli işletmede, ilk olarak, kurak dönemde yapılan işletme sonucunda elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta ve toplam enerjinin enbüyüklenmesine çalışılmaktadır. Buradan, aylık normal işletme seviyeleri elde edilmektedir.

Tablo 4.9. Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar

Barajlar (10 ⁷ m ³)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	15	17	24	31	33	54	53	37	21	19	16	14
Çatalan	16	18	28	35	37	59	54	37	24	24	19	16
Seyhan	16	15	25	38	41	50	54	46	48	45	30	18

4.1.4. Toplam enerjinin en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Toplam enerjinin en büyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Minimum güç, $P_{Min}=149,45$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=241,03$ MW, maksimum

güç, $P_{Maks}=407,17$ MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=9

1. Tablo 4.10' da, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları
2. Tablo 4.11' de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,
3. Tablo 4.12' de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,
4. Şekil 4.3' de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,
5. Şekil 4.4' de, toplam aylık güç değeri
6. Tablo 4.13' de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.10. Barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

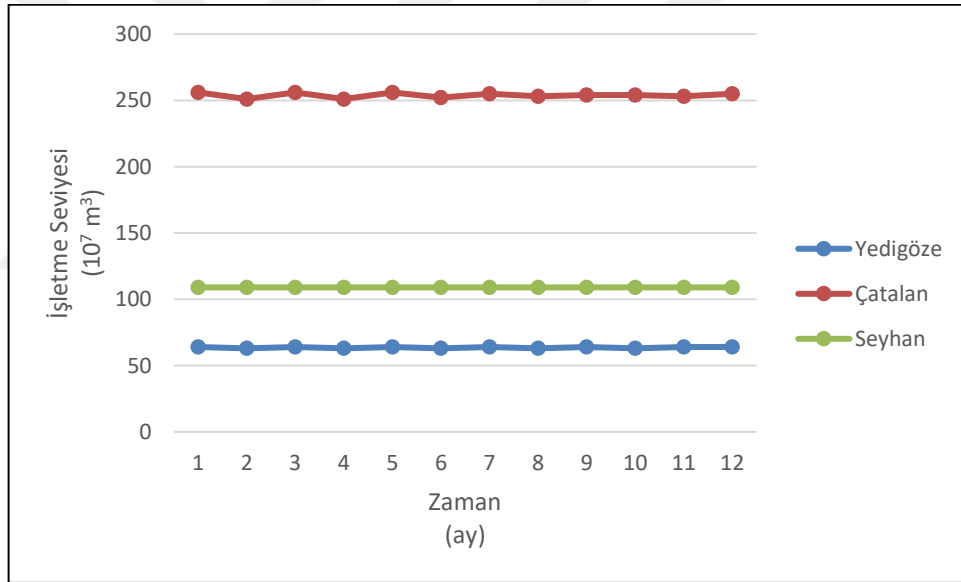
Barajlar (10 ⁷ m ³)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	16	16	25	30	34	53	54	36	22	18	16	14
Çatalan	37	29	58	60	75	109	110	72	46	43	33	29
Seyhan	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41

Tablo 4.11. Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çatalan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seyhan	12	3	42	57	75	118	123	77	53	47	22	6

Tablo 4.12. Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Yedigöze	64	63	64	63	64	63	64	63	64	63	64	64
Çatalan	256	251	256	251	256	252	255	253	254	254	253	255
Seyhan	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109

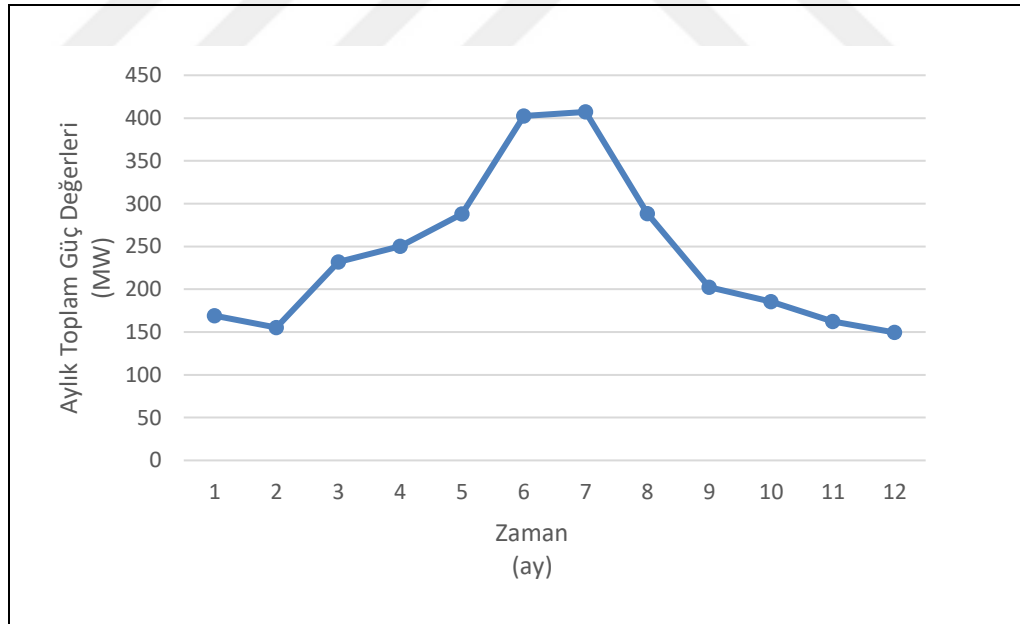


Şekil 4.3. Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri

Aylık normal işletme seviyeleri incelendiğinde, ciddi bir değişim olmadığı, barajların dolu olarak havzadan gelen akımların tamamı ve fazlasını karşıladığı, enerji ve dolu savak kapasitelerinin üst sınırları kullanılarak akımların bırakıldığı görülmüştür. Seviyelerde değişimlerin olmamasının sebebi, havzadan gelen akımın oldukça fazla olması ve barajların dolu olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.13. Barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	Yedigöze	Çatalan	Seyhan	MW
Ekim	46,48	64,64	58,12	169,24
Kasım	46,48	50,66	58,12	155,27
Aralık	72,63	101,32	58,12	232,07
Ocak	87,16	104,82	58,12	250,09
Şubat	98,78	131,02	58,12	287,92
Mart	153,98	190,42	58,12	402,52
Nisan	156,89	192,16	58,12	407,17
Mayıs	104,59	125,78	58,12	288,49
Haziran	63,92	80,36	58,12	202,39
Temmuz	52,30	75,12	58,12	185,53
Ağustos	46,48	57,65	58,12	162,25
Eylül	40,67	50,66	58,12	149,45



Şekil 4.4. Aylık toplam güç değerleri

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta, ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve ortalama güç $P_{ort}=241,03$ MW olarak elde edilmektedir.

DSİ Genel Müdürlüğü'nde barajların ortalama gücün (P_{ort}) bulunması için Denklem (4.2)' deki gibi; (III. DSİ Hidroloji Semineri, 1979),

$$P_{ort} = 3,08.10^{-3} q_{ort} \cdot \sum_{i=1}^3 h_{imaks} \quad (4.2)$$

ifadesi verilmektedir. Ortalama akım, q_{ort} , Denklem (4.3)'deki gibi;

$$q_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^3 q_{iort} \cdot h_{imaks}}{\sum_{i=1}^3 h_{imaks}} \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada,

h_{imaks} : Her i-barajında, HES' ler üzerindeki maksimum yükseklik (m)

q_{iort} : Her i-barajında, aylık ortalama akım (10^6 m³)

göstermektedir.

Tablo 4.14. Seyhan Havza'sındaki sisteme ait barajların ortalama güç değerleri, P_{ort} , (MW)

Barajlar	q_{iort}	h_{imaks}	$\sum q_{iort} \cdot h_{iort}$	q_{ort}	$\sum h_{imaks}$	$P_{ort}(MW)$
Yedigöze	278,06	96	26694	304	203	190,07
Çatalan	306,49	59	18083			
Seyhan	354,43	48	17013			

Tablo 4.14'de barajlara ait verilen verilerden, sistemin toplam ortalama gücü, $P_{ort}=190,07$ MW olarak elde edilmiştir. Buna göre, uzun dönemli işletmede, aylık ortalama akımlar kullanılarak toplam enerjinin enbüyüklenmesi optimizasyonunda elde edilen ortalama güç $P_{ort} =241,03$ MW, Denklem (4.2) ile elde edilen değerden % 27 (1,27 katı) kadar daha büyüktür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme için, bir akarsu havzasında, birbirine seri şeklinde bağlanmış barajlardan oluşan bir su kaynakları sistemi bütün değişkenleriyle matematiksel olarak tanımlanmış ve uzun süreli işletme modeli kurulmuştur. Bu modelde, ana kol üzerindeki barajlar (Yedigöze, Çatalan, Seyhan) incelenmiştir. Kurak dönem akımları göz önüne alınarak güvenilir güç değerleri hesaplanmakta ve bulunan güvenilir güç değeri çalışmada kısıt olarak kullanılıp aylık ortalama akımlar ile ortalama güç değerleri elde edilmiştir.

Kurulan modele göre elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir:

1. Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda, aylık akımlar kullanılarak güvenilir gücün en büyüklenmesinde elde edilen optimal işletme seviyelerine bakıldığında, Çatalan Barajı'na ait işletme seviyesi, işletmeyi yöneten ve yönlendiren durumdadır. Elde edilen aylık minimum işletme seviyelerine bakıldığı zaman, en büyük faydalı hacime sahip olan barajlardaki işletme seviyelerindeki değişim güvenilir gücün enbüyüklenmesinde etkili olmaktadır.
2. Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda, aylık akımlar kullanılarak toplam enerjinin en büyüklenmesinde elde edilen optimal işletme seviyelerine bakıldığında, ciddi bir değişim olmadığı, barajların dolu olarak havzadan gelen akımların tamamı ve fazlasını karşıladığı, enerji ve dolu savak kapasitelerinin üst sınırları kullanılarak akımların bırakıldığı görülmüştür. Seviyelerde değişimlerin olmamasının sebebi, havzadan gelen akımın oldukça fazla olması ve barajların dolu olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda ya barajların türbin kapasitelerinin arttırılması yada bu baraj sistemine yeni bir baraj ilave edilmesi gerekmektedir.

3. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kritik dönemin aylık akımları ile bulunan güvenilir güç değeri $P_G=148,300$ MW olarak elde edilmiştir. DSİ formülüyle de güvenilir güç değeri hesaplanmış ve buradan bulunan güvenilir güç değeri $P_G=51,17$ MW' dır. Bu elde edilen güvenilir güç, DSİ Genel Müdürlüğü' nün kullandığı yaklaşıma göre elde edilen güvenilir güçten %190 daha büyük çıkmıştır.

4. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta, ortalama akımlar ile toplam enerji en büyüklenmekte ve ortalama güç $P_{ort}=241,03$ MW olarak elde edilmektedir. DSİ formülüyle de ortalama güç değeri elde edilmiş olup bulunan ortalama güç değeri $P_{ort}=190,07$ MW' tır. Bu elde edilen ortalama güç, DSİ Genel Müdürlüğü' nün kullandığı yaklaşıma göre elde edilen ortalama güçten % 27 daha büyüktür.

5. DSİ formülüyle hesaplanan güç değerlerinde tek değer elde edilmektedir. Buna karşın programlama ile her ay için güç değeri elde edilmektedir. Dönem içerisindeki ayların birbirleri ile kıyaslanabilmesi sağlanabilmekte bu şekilde her ay için optimum işletim sağlanmaktadır.

Daha sonraki çalışmalarda iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak geleceğe ilişkin enerji üretim planlamaları yapılabilir. Ayrıca içme suyu, sulama ve taşkın kontrolü gibi amaçlar için de çok amaçlı optimal işletme modeli kurulabilir.

KAYNAKLAR

Al-Janabi A., Orta Sakarya Nehri Üzerindeki Çoklu Barajların Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2018, 531464.

Archibald T., McKinnon, S., Thomas I., An Aggregate Stochastic Dynamic Programming Model of Multi-reservoir Systems, *Water Resources Research*, 1997, **33**(2), 333-340.

Bacaksız E., Yeşilırmak Havzasında Bulunan Çok Barajlı Bir Su Kaynakları Sisteminde Optimal Enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 521926.

Bellman R., *Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957.

Bellman R., Dreyfus S., *Applied Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1962.

Braga, B., Yeh W., and Barros, M., Stochastic Optimization of Multiplereservoir-System Operation, *Water Resources Planning and Management*, 1991, **117**(4), 471-481.

Chen, L., Real Time Genetic Algorithm Optimization of Long Term Reservoir Operation, *Journal of the American Water Resources Association*, 2003, **39**(5), 1157-1165.

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

Duranyildiz, İ., Bayazit, M., Önöz, B., Avcı, İ. and Oğuz, B. Optimum Operation Management of The Istanbul Water Supply System, *Turkish journal of engineering and environmental sciences*, 2000, **24** (4); 247–254.

Duranyildiz, İ., Önöz, B. and Bayazit M., A Chance-Constrained LP Model for Short Term Reservoir Operation Optimization, *Turkish journal of engineering and environmental sciences*, 1999, **23** (3); 181–186.

Giles J., Wunderlich W., Weekly Multipurpose Planning Model for TVA Reservoir System, *J. Water Resources Planning and Management*, 1981, **107**(2), 495-511.

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

Hall W., Harboe R., Yeh W., Askew A., Optimum Firm Power Output from a Two Reservoir System by Incremental Dynamic Programming, *Water Research Center*, University of California, Los Angeles, 1969.

Hiedari M., Chow V., Kotovic P., Meredith D., Discrete Differential Dynamic Programming Approach to Water Resources System Optimization, *Water Resources Research*, 1971, **7**(2), 2733-2822.

Ji C., Li C., Wang B., Liu M. And Wang L., Multi-Stage Dynamic Programming Method for Short-Term Cascade Reservoirs Optimal Operation with Flow Attenuation, *Water Resour Manage*, 2017, **31**, 4571–4586.

John, L., Optimal Operation of Multireservoir System: State-of-the-Art review, *Water Resources Planning and Management*, 2004, **130**(2): 93-111.

Jones L., Willis R., Finney B., Water Resources Systems Planning: Differential Dynamic Programming Models, *Proc. Water Forum.86* (ASCE), Reston, USA, 16-18 March 1986.

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

Karamouz, M., Houck, M., and Delleur, J., Optimization and Simulation of Multiple reservoir Systems, *J. Water Resources Planning and Management*, 1992, **118**(1), 71-81.

Labadie, J. W. ve ASCE, M., Optimal Operation of Multireservoir Systems: state-of-the-art review, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2014, **130**, 93-111.

Larson R., *State Increment Dynamic Programming*, Elsevier, New York, 1968.

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

Li X., Wei J., Li T., Wang G. And Yeh W., A Parallel Dynamic Programming Algorithm for Multi-reservoir System Optimization, *Advances in Water Resources*, 2014, **67**, 1–15.

Maas A. M., Hufschmidt R., Dorfman H. A., Thomas Jr. S. A., Marglin G. M., *Design of Water Resources Systems*, Harvard University Press, Cambridge, 1962.

Nopmongcol P., Askew A., Multi-level Incremental Dynamic Programming, *Water Resour. Res.*, 1997,**12**(6), 1291-1297.

Opan M., Çok Barajlı Sistemlerde Çok Amaçlı Optimal İşletme, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 232690.

Ponnambalam K., Adams B., Stochastic Optimization of Multi-reservoir Systems Using a Heuristic Algorithm: Case Study from India, *Water Resources Research*, 1996, **32**(3), 733-741.

Rani D., Moreira M., Simulation-Optimization Modeling: A Survey and Potential Application in Reservoir, *Water Resources Management*, 2010, **24**, 1107-1138.

Roefs T. and Bodin T., Multireservoir Operation Studies, *Water Resources Research*, 1970, **6**(2), 410-420.

Sert M., Öcal M., Oktay N., Ertuğrul M., *Sakarya Basin Optimal Energy Production Project*, TÜBİTAK Marmara Scientific and Industrial Research Institute, Operations Research Department, Gebze-Kocaeli, 1983.

Sert M., *System Optimization in Water Resources Planning*, TÜBİTAK Marmara Scientific and Industrial Research Institute, Operations Research Department, MBEAE Press, Gebze, 1987.

Sherkat V., Campo R., Moslehi K. and Lo E., Stochastic long-term hydro-thermal optimization for multireservoir systems, *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, 1985, **104**(8), 2040-2050.

Temiz T., Çok Barajlı Havzalarda Uzun Süreli Planlama, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 233115.

Trott W., Yeh W., Optimization of Multiple Reservoir System, *Journal of The Hydraulic Division*, 1973, **99**, 1865-1884.

Tuncok, I. K., and L. W. Mays, Feedback Method of Control for Estuary Management, *Water Resources Management*, 1999, **13**(5), 315-334.

Wang F., Oliver C., Valeriano s. And Sun X., Near Real-Time Optimization of Multi-Reservoir during Flood Season in the Fengman Basin of China, *Water Resources Management*, 2013, **27**, 4315–4335

Yakowitz S.J., Dynamic Programming Applications in Water Resources, *Water Resources Research*, 1982, **18**(4), 673–696.

Young G., Finding Reservoir Operating Rules, *J. Hydraul. Div.*, 1967, **93**(6), 297-321.

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

Yoo J. H., Maximization of Hydropower Generation Through the Application of a Linear Programming Model, *Journal of Hydrology*, 2009, **376**(1), 182–187.

Yurtal R., Çoklu Baraj Sistemlerinin Enerji Optimizasyonu İçin Geliştirilmiş Etkin Bir Artırımlı Dinamik Programlama modeli ve Aşağı Seyhan Havzası'na Uygulanması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1993.

Yurtal R., Çoklu Baraj Sistemlerinin Enerji Optimizasyonu için Geliştirilmiş Etkin Bir Artırımlı Dinamik Programlama Modeli, *Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 1995, **19**, 433-445.

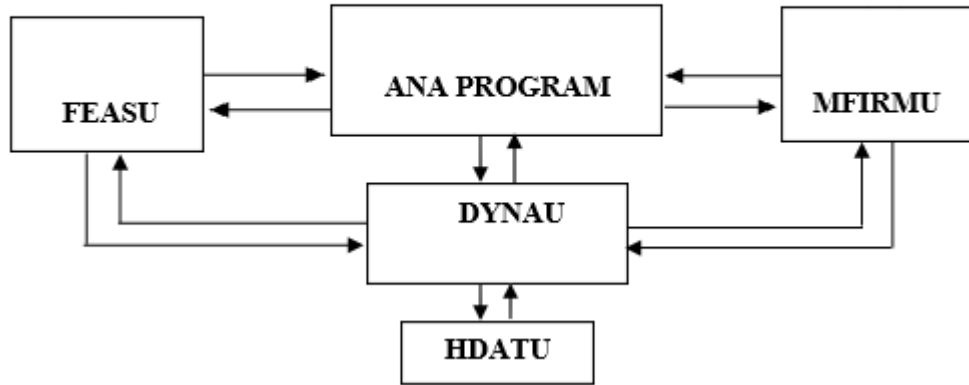


Ek-A

UZUN DÖNEMLİ İŞLETME MODELİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu işletme modeline ait bilgisayar programının yapısında, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada amaç fonksiyonu, kritik dönem gözetilerek bu döneme ait aylık akımlarla güvenilir enerjinin enbüyüklenmesi ve sonrasında kritik dönemden elde edilen güvenilir enerjiyi kısıt olarak kullanılarak aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin en büyüklenmesi şeklindedir. Modelde öngörülen amaca uygun olarak program, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla, birbirine seri olarak bağlı ve istenen sayıda enerji amaçlı depolamalı barajının oluşturduğu su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Bilgisayar programı, bir ana program ve dört alt programdan oluşmaktadır. Programın yapısı ve ana programla alt programların birbiri ile ilişkileri Şekil A.1’ de verilmiştir. Bilgisayar programının ana program ve alt programın dosya ismi uzantıları *.m şeklinde olup, giren ve çıkan verilerin dosya ismi uzantıları *.mat şeklindedir.



Şekil A.1.Uzun dönemli işletme modeli için bilgisayar programının yapısı

Ana programda ve alt programlarda kullanılan değişkenler aşağıda verildiği gibidir.

M :Baraj sayısı

KM :Optimizasyon süresindeki dönem sayısı (ay)

IW :Başlangıç işletme politikasının belirli olup olmadığını gösteren bir parametre, IW=1 ise belirli, IW=0 ise belirsiz
 PK :Güç katsayısı
 PGV :Hidroelektrik sistemin sağlaması istenilen en küçük güç (güvenilir güç)
 FF :Primer enerji birim fiyatı
 FS :Sekonder enerji birim fiyatı
 KV(i) :i-barajında minimum depolanan su miktarı (10^7 m^3)
 IV(i) :i-barajında maksimum depolanan su miktarı (10^7 m^3)
 IQM(i) :i-barajından enerji için bırakılabilecek maksimum su miktarı (10^7 m^3)
 HT(i,j) :i-barajında $j \times 10^7 \text{ m}^3$ depolanan su miktarına karşılık gelen su yüksekliği (m)
 JF(i,j) :i-barajına j-zamandaki havzasından gelen su miktarı (10^7 m^3)
 IS(i,j) :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı (10^7 m^3) (Durum değişkeni)
 IQ(i,j) :i-barajında j-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı (10^7 m^3) (Karar değişkeni)
 IR(i,j) :i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı (10^7 m^3)
 IQS(JS,k):Bir önceki yinelemede JS-barajında k-zamanda bırakılmasına karar verilmiş su miktarı (10^7 m^3)
 PORT(i):i-barajında üretilen ortalama güç
 PMIN(i):i-barajında üretilen en küçük güç
 PMAX(i):i-barajında üretilen en büyük güç
 SPIU(i,j):i-durum değişkeni değerinde j-karar değişkenindeki aşama faydası
 PI(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamasındaki en iyi aşama faydası
 IC(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamadaki en iyi aşama faydasını veren karar değişkeni değeri
 JS :Eniyileme yapılmak üzere ele alınmış durum değerini belirleyen gösterge
 KT :Alt program FEASU' e tarafından alt program DYNAU tarafından ele alınmış aşamayı bildirmek için kullanılan aşama göstergesi
 IFS :Alt program FEASU tarafından alt program DYNAU' ya belirli bir durum değişkeni-karar değişkeni kümesinin olurlu olup olmadığı bildirmek için kullanılan olurluk göstergesi, IFS=1 ise olursuz, IFS=0 ise olurlu,
 ICOUNT: Yineleme sayısının gösteren indis

ITRM : Sonulamayı belirleyen indis (her durum değişkeni için çözümün sabit kalmasıyla artmakta olup $ITRM=M$ olduğunda en iyi çözüm bulunmuştur.)

A.1. Uzun (Ana Program)

Ana programın yaptığı işlemler şunlardır:

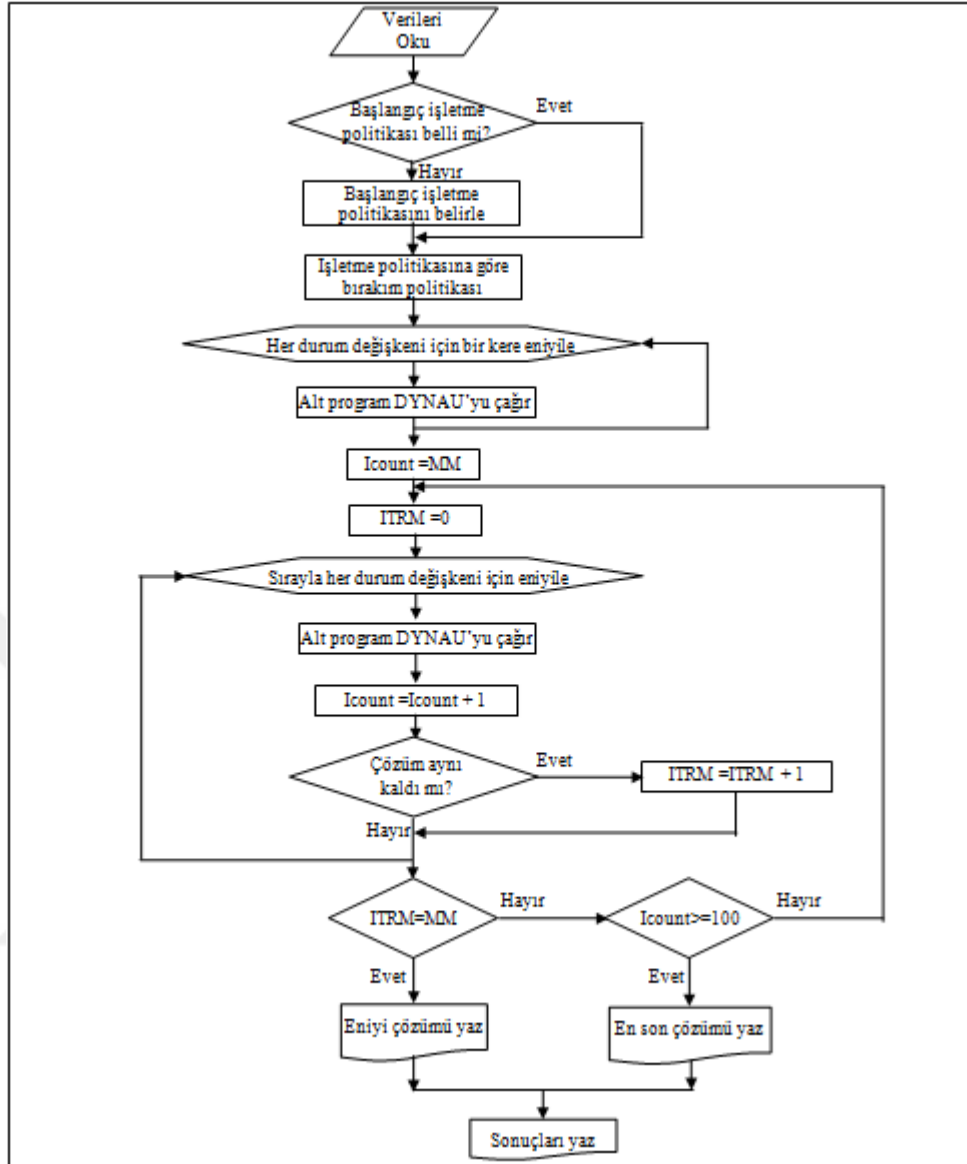
1.Verilerin okunması işlemi

- Baraj sayısı (M),
- Dönem sayısı (KM),
- Başlangıç politikası (IW),
- Her bir barajdan bırakılabilecek maksimum su miktarlarının değerleri (IQM),
- Her bir baraja ait maksimum ve minimum depolanan su seviyeleri (IV, KV),
- Her bir barajın her bir dönem için havzasından gelen su miktarları (JF),

şeklinde olmaktadır.

1. Başlangıç politikasının sorgulanması işlemi

Ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama yaklaşımının kısa sürede sonuç vermesi için üretilen başlangıç politikası, her bir barajın her bir dönemi için ya önceden belirlenmiş ya da hesapla belirlenecektir. Başlangıç politikası göstergesi IW ile gösterilmektedir. $IW=1$ ise, belirli, $IW=0$ ise, belirli değil ama hesapla belirlenecek demektir. Başlangıç politikasının hesapla belirlenmesi, her bir baraj için depolanmış su miktarı değerinin ona uygun sabit bir değer atanması ile olmaktadır.



Şekil A.2. Ana program UZUN için genelleştirilmiş akış şeması

2. Başlangıç politikası kullanılarak su bırakım miktarlarının hesaplanması işlemi

Su bırakım miktarları, her bir baraj için su dengesi ilişkisinden belirlenmektedir. İlk olarak, dolu savaktan su bırakılmaması öngörülmekte, yani

$$IR(i,j)=0$$

olmakta, aşağıdaki denklemde enerji üretimi için bırakılan su miktarı,

$$IQ(i,j)=JF(i,j)+IS(i,j)-IS(i,j+1) \text{ (i=1 için)}$$

$$IQ(i,j)=JF(i,j)+IQ(i-1,j)+IR(i-1,j)+IS(i,j)-IS(i,j+1) \quad (i=2,3,\dots,M \text{ için})$$

şeklinde belirlenmektedir. Enerji için bırakılan su miktarı, enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarını aşıyorsa,

$$IQ(i,j)>IQM(i)$$

bu durumda buradaki fazla su miktarı dolu savaktan bırakılacak,

$$IR(i,j)=IQ(i,j)-IQM(i)$$

$$IQ(i,j)=IQM(i)$$

şeklinde olup, enerji için bırakılan maksimum su miktarını aşmıyorsa,

$$IR(i,j)=0$$

olarak başlangıçta öngörülen değer geçerli olacaktır.

3. Başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için ana programdan alt program DYNAU' ya gidilmektedir.

Alt program DYNAU ile ilgili açıklamalar verilmektedir. ($i=JS$:durum değişkeni göstergesi, $JS=1,2,\dots,M$:Baraj sayısı)

4. Her durum değeri göstergesinde çözümün sabit kaldığı son çözümün üretilmesi işlemi

Madde 4'de başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için ana programdan alt program DYNAU' ya gidilmişti. O zaman, yineleme sayısı baraj sayısı kadar olmuştur. Yani

$$ICOUNT=M$$

olmakta, ancak yineleme işlemi sonucunda çözümün sabit kalıp kalmadığını belirlemek için yineleme işlemine bağlı sonuçlamayı belirleyen ITRM olarak gösterilen bir parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Başlangıçta,

$$ITRM=0$$

olarak alınmakta, her bir durum için çözüm sabit kaldığında birer birer artmaktadır. Yineleme esnasında çözümün sabit kalıp kalmaması, bir önceki çözüme ait IQ bırakım değerleri,

$$IQS=IQ$$

alınıp, çözüm neticesinde,

$$IQ=IQS$$

olup olmadığının kontrolü şeklinde gerçekleşmektedir. Eşitlik sürüyorsa çözüm sabitlenmiş, yani

$$ITRM=ITRM+1$$

olacaktır. Eşitlik devam etmiyorsa, yeni IQ, IQS e eşitlenerek çözüm yinelenecektir.

Bu durumda,

$$ICOUNT=ICOUNT+1$$

olmaktadır.

Bu işlemler belirli bir ICOUNT' a ve ITRM=M' ye kadar devam edecektir. Öngörülen ICOUNT' da çözüme ulaşılmadıysa, program sona erdirilip, sonuçlar "Çözüme ulaşılamadı" şeklinde ekrana yansımaktadır. Burada, başlangıç politikası ve seçilen ICOUNT değeri, çözüme ulaşmak için sistemin boyutu göz önüne alınarak dikkatle seçilmesi gerekmektedir.

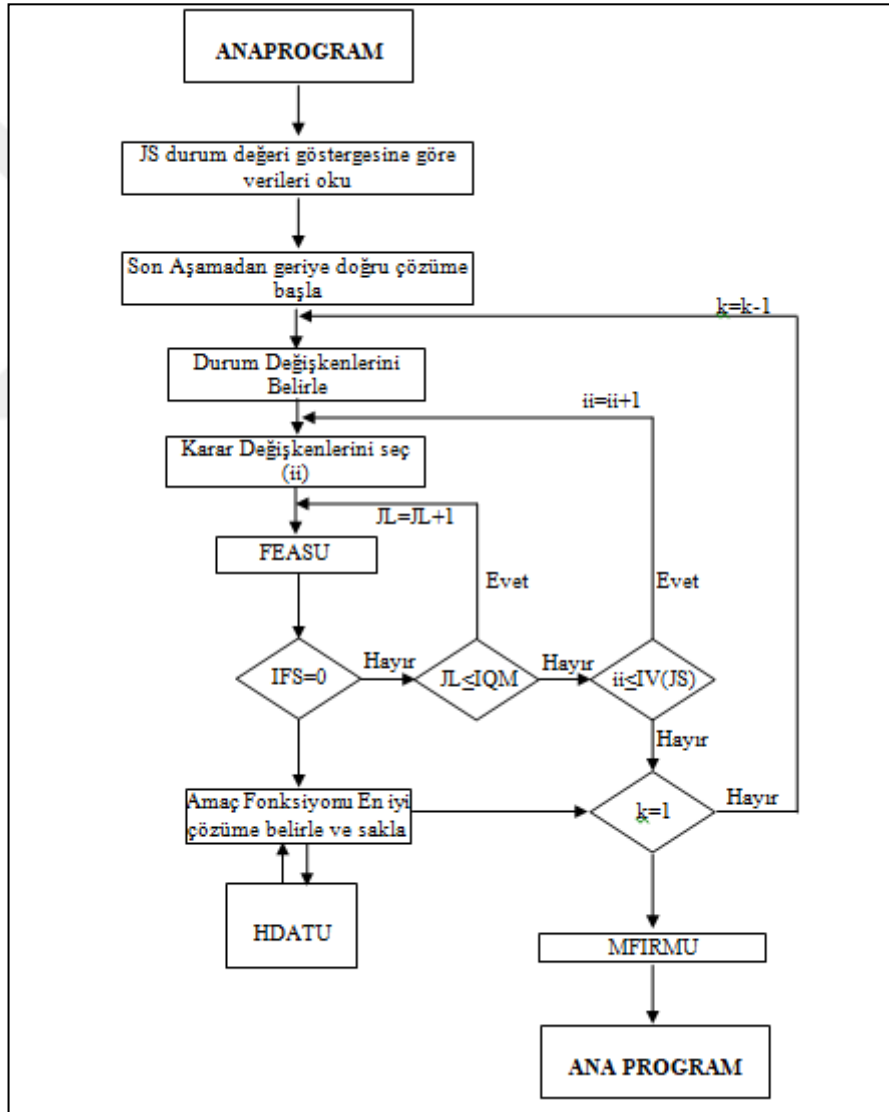
5. Son işlem ise, sonuçların *.mat uzantılı dosya olarak saklanması ve aynı zamanda ekrana yansıtılması şeklinde gerçekleştirilmektedir.

A.1.1. Dynau (Alt Program)

Ana program tarafından çağırılan bu alt program içerisinde, her bir aşamaya ait durum ve karar değişkeni değerlerinin sırayla ele alınarak amaç fonksiyonunda değerlendirildiği bir programdır. DYNAU alt programa bağlı diğer alt programlar, FEASU, MFIRMU ve HCEYU şeklindedir.

Burada, yapılan işlemler şunlardır:

1. Son aşamadan başlanarak geriye doğru gidilmesi (geriye doğru dinamik programlama)
2. Ana programdan JS durum değeri göstergesi ile gönderilen değişkenler kullanılarak ve diğer durumlardaki değişkenlerin değeri sabit tutularak her bir ii-durum değişkeni için JL-karar değişkeni değerleri belirlenip alt program FEASU'ya olurlu olup olmadıkları belirlemek amacıyla gönderilmektedir. Burada ii-durum değişkeni değeri, JS' e karşılık gelen barajdaki minimum depolanan su miktarından maksimum depolanan su miktarına kadar değişmektedir. JL-karar değişkeni ise, JS



Şekil A.3. Alt programın DYNAU için genelleştirilmiş akış şeması

durum değeri göstergesine karşılık gelen barajda, 0 değeri ile barajdan enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarı arasında değişmektedir. Yani,

$$KV(JS) < ii < IV(JS) \text{ ve}$$

$$0 < JL < IQM(JS)$$

şeklindedir. Buradaki her bir ii-durum değişkenine ait JL-karar değişkeni söz konusudur.

3. Herhangi bir ii-durum değişkenindeki JL-karar değişkeni ile seçilen IS ve IQ değerleri

$$IS(JS,k) = ii,$$

$$IQ(JS,k) = JL$$

alınarak alt program FEASU' e olurlu olup olmadıklarının belirlemek amacıyla gönderilmektedir.

4. HDATU alt programı çağrılıp, buradan gelen güç katsayısı (PK), enerji birim fiyatları (FF ve FS) yükseklik matrisi ile alt program FEASU tarafından olurlu olarak gelen IQ ve IS değerlerini kullanarak, ilk olarak enerji üretilecek depolanmış su seviyesine göre,

$$isl = (IS(JS,k) + IS(JS,k)) / 2 - KV(JS) + 1$$

olmakta ve bu değere göre, aşama faydası

$$SPI(ii, JL) = PK.IQ(JS,k).H(JS,isl)$$

olarak hesaplanmakta ve amaç fonksiyonu ortamında değerlendirilmektedir.

Amaç fonksiyonu iki kriterli olarak şöyledir. Birincisi, kritik dönem gözetilerek, bu döneme ait aylık ortalama akımlarla güvenilir enerjinin enbüyüklenmesi şeklinde ve ikincisi de kritik dönemden elde edilen güvenilir enerjiyi kısıt olarak kullanılarak aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin en büyüklenmesi şeklindedir. İlkine göre bu değerlendirmeye gelince,

$SPI(ii, JL) > PI(ii, JL)$ ise $SPI(ii, JL) = PI(ii, JL)$

$IC(ii, JL) = IQ(JS, k)$

şeklinde olup, bu değerler IC değeri ile saklanmaktadır.

$SPI(ii, JL) < PI(ii, JL)$ ise ii-ye karşılık başka bir JL değerini seçilmekte, yeniden alt program FEASU' e gidilmektedir. Ancak ii-durum değişkeni için bütün karar değişkenleri denenmişse, o zaman JS durum değeri göstergesine ait yeni bir ii-durum değişkeni için JL değerleri seçilerek işlemler yürütülmektedir.

İkinci amaç fonksiyonunda ise, aşama faydası,

$SPI(ii, JL) > PGV$

güvenilir enerji ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa, aşama faydası

$SPI(ii, JL) = ((SPI(ii, JL) - PGV) \cdot FS + PGV \cdot FF) \cdot 720 + PI(IN, k+1);$

olarak elde edilip ($IN = IS(JS, k+1) - LS + 1$), bu değer,

$SPI(ii, JL) > PI(ii, JL)$

öngörülen minimum aşama faydası ile karşılaştırılmakta ve bunu sağlıyorsa,

$IC(ii, JL) = IQ(JS, k)$

olarak alınıp, saklanmaktadır. Diğer işlemler ise, yukarıda anlatıldığı gibidir.

Bu işlemler JS-durum değeri göstergesinde, son aşamadan ilk aşamaya kadar her bir durum değişkeninde karar değişkenleri ele alınıp en iyi çözümler elde edilinceye kadar sürdürülmektedir.

5. Alt program DYNAU' dan alt programı MFIRMU' ya gidilmesi

JS-durum değeri göstergesinde, son aşamadan ilk aşamaya kadar her bir durum değişkeninde karar değişkenleri ele alınıp en iyi çözümler elde edildikten sonra, alt program DYNAU' dan alt program MFIRMU' ya gidilmektedir. Burada ise, JS-durum değeri göstergesi altında oluşturulan en iyi çözümler arasından en iyisi

seçilerek optimal işletme politikaları belirlenmektedir. Bununla ilgili ayrıntılara alt program MFIRMU anlatırken girilecektir.

6. Ana programa geri dönülmesi ile alt program DYNAU sonlandırılmaktadır.

A.1.2. Feasu (Alt Program)

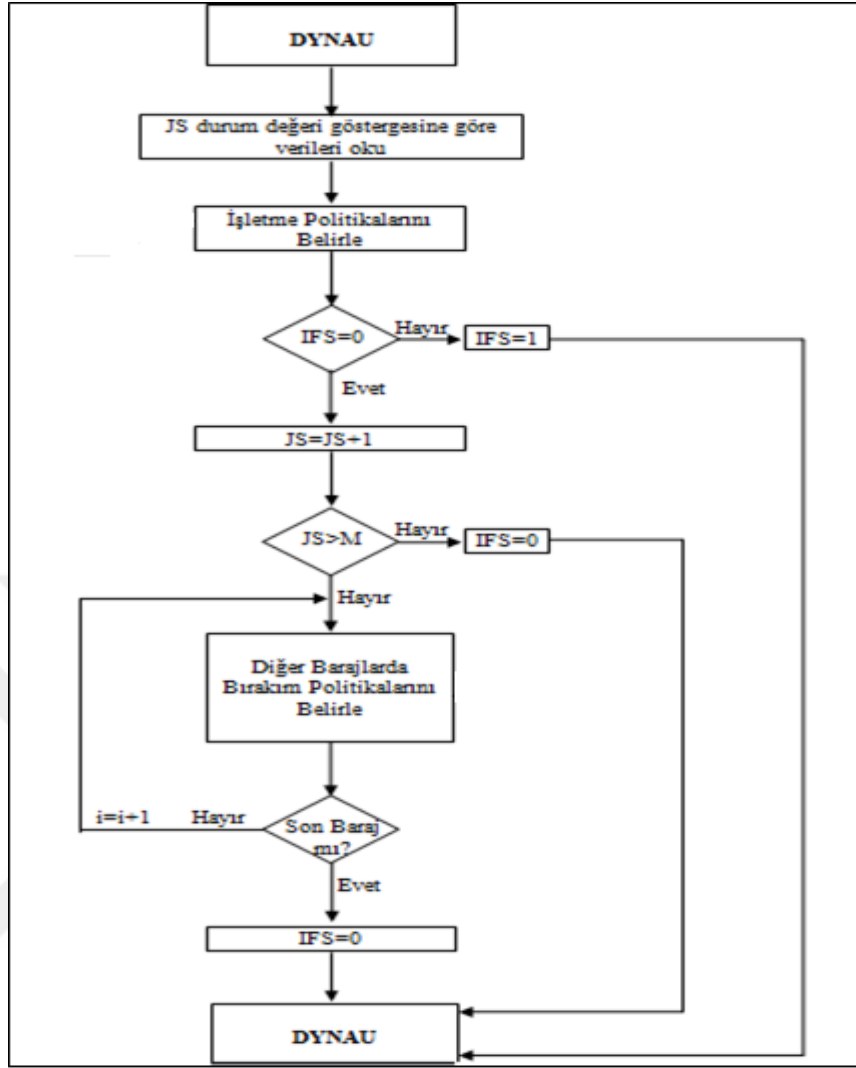
FEASU, DYNAU alt programının çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, bu programda JS-durum değişkeni göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni ve JL-karar değişkeni ikilisinin (IS, IQ) olurlu olup olmadığını belirlemeye yardımcı olan bir programdır. Bu alt programda, JS-durum değeri göstergesi için seçilen durum ve karar değişkenlerinin olurlu olup olmadığı belirlenirken, diğer barajlarda durum değişkenleri(baraj seviyeleri) sabit tutularak karar değişkenleri(enerji üretimi için bırakım miktarları) elde edilmektedir. Elde edilen değerlerin olurlu olup olmadığının göstergesi olarak IFS parametresi tanımlanmaktadır. Eğer, bu ikili olurlu ise IFS=0, olursuz ise IFS=1 olarak seçilerek, bu durum alt program DYNAU' ya bildirilmektedir.

Bu alt programda yapılan işlemler şöyledir. JS-durum değeri göstergesi ile gönderilen durum değişkeni ve karar değişkenleri kullanılarak, JS-durum değişkeni göstergesine karşılık gelen barajda işletme seviyesi belirlenmekte ve bu değer kapasite değerleri ile karşılaştırılarak IFS göstergesinin alacağı değer belirlenmektedir.

$$IR(JS,k)=0$$

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \text{ (JS=1 için)}$$

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IQ(JS-1,k)+IR(JS-1,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \text{ (JS=2,3...M için)}$$



Şekil A.4. Alt programın FEASU için genelleştirilmiş akış şeması

belirlenmekte, buradan elde edilen $IS(JS,k+1)$ değeri, ilk olarak, depolanan minimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$IS(JS,k+1) < KV(JS)$ ise $IFS=1$

olarak elde edilmektedir. Buradan, alt program DYNAU' ya dönülerek JS-durum değeri göstergesine ait aynı ii-durum değişkeni ile JL-karar değeri, $JL=JL+1$ alınarak seçilip, alt program FEASU' ya tekrar gelindikten sonra, bu ikili değer in olurlu olup olmaması irdelenmektedir. Eğer

$IS(JS,k+1) > KV(JS)$

ise, o zaman, bu değer depolanan maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$IS(JS,k+1) > IV(JS)$ ise $IS(JS,k+1)=IV(JS)$, $IR(JS,k)=IS(JS,k+1)-IV(JS)$

değerleri elde edilmektedir. Buradan, diğer barajlara geçilerek, JS-durum değeri göstergesine ait karar değişkeni değerleri belirlenmektedir. JS-durum değeri göstergesi altında diğer barajlarda yapılan işlemler ise, şu şekildedir.

$$IR(i,k)=0$$

$$IQ(i,k)=JF(i,k)+IQ(i-1,k)+IR(i-1,k)+IS(i,k)-IS(i+1,k) \text{ (i=2,3,..M için)}$$

olarak belirlenip, buradan, $IQ(i,k)$ değeri, enerji için bırakılacak maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$IQ(i,k) > IQM(i) \text{ ise } IR(i,k)=IQ(i,k)-IQM(i), IQ(i,k)=IQM(i)$$

olarak elde edilmektedir. Bu değerler belirlendikten sonra, $IFS=0$ alınarak alt program DYNAU' ya geri dönülmektedir.

A.1.3. Mfirmu (Alt Program)

Herhangi bir durum değişkeni göstergesi için bütün durum ve karar değişkenlerine göre elde edilen en iyi çözümler belirlendikten sonra, ilk aşamadan son aşamaya doğru gidilerek bu en iyi çözümler arasından en iyisinin belirlenmesine yardım eden alt programlarından birisi de MFIRMU' dir.

Bu alt programda yapılan işlemler şu şekildedir. JS-durum değişkeni göstergesi için bütün durum ve karar değişkenleri kullanılarak, elde edilen sonuçlar, alt program DYNAU' da IC en iyi durum-karar değişkeni çözümleri matrisi olarak saklanmaktadır. Burada bu saklanan değerler, ilk aşamadan başlanarak işletme seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere çağrılmaktadır. Yani,

$$IQ(JS,1)=IC(1,1)$$

şeklinde olmakta,

$$IR(JS, k)=0$$

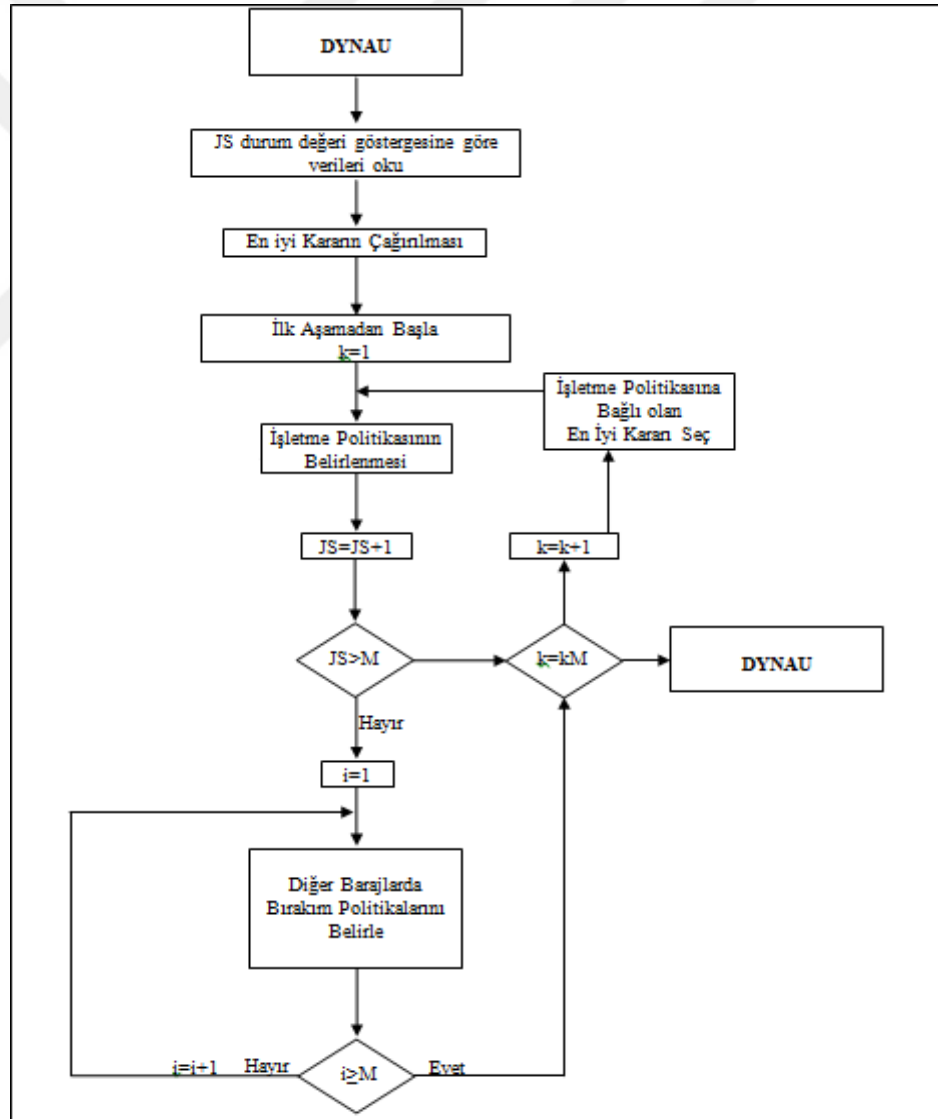
$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \text{ (JS=1 ve k=1 için)}$$

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IQ(JS-1,k)+IR(JS-1,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \text{ (JS=2,3..M için)}$$

olarak ele alınmaktadır. Buradan elde edilen $IS(JS,k+1)$ değeri, depolanan maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$IS(JS,k+1) > IV(JS)$ ise $IS(JS,k+1) = IV(JS)$, $IR(JS,k) = IS(JS,k+1) - IV(JS)$

değerleri elde edilmektedir. Burada elde edilen $IS(JS,k+1)$ değeri kullanılarak JS-durum değeri göstergesi artırıldıktan sonraki JS' e karşılık gelen baraj numarası, son baraj numarasından büyük ise, bir sonraki aşamadaki en iyi karar değişkeni seçilerek, bu aşamadan işlemler sürdürülmektedir. Yani, $JS = JS + 1$ olarak artırıldıktan sonra, $JS > M$ ise, işletme seviyesine karşılık gelen en iyi durum değişkeni sırası,



Şekil A.5. Alt programın MFIRMU için genelleştirilmiş akış şeması

$$kx=IS(JS,k+1)-LS+1$$

olarak belirlenmekte ve buna göre en iyi karar değişkeni çözümü

$$IQ(JS,k+1)=IC(kx,k+1)$$

olarak seçilip, (k+1). aşamaya geçilmektedir. Eğer,

$$JS < M$$

ise, diğer barajlara geçilerek, JS-durum değeri göstergesine ait karar değişkeni değerleri belirlenmektedir. Yani, JS-durum değeri göstergesi altında diğer barajlarda yapılan işlemler ise,

$$IR(i,k)=0$$

$$IQ(i,k)=JF(i,k)+IQ(i-1,k)+IR(i-1,k)+IS(i,k)-IS(i, k+1) \quad (i=2,3,..M \text{ için})$$

olarak belirlenip, buradan, $IQ(i,k)$ değeri, enerji için bırakılacak maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$IQ(i,k) > IQM(i) \text{ ise } IR(i,k)=IQ(i,k)-IQM(i), \quad IQ(i,k)=IQM(i)$$

olarak elde edilmektedir. Bu işlemlerden sonra, ikinci aşamaya geçmeden önce, (k+1). aşama için, en iyi durum değişkeni sırası,

$$kx=IS(JS,k+1)-LS+1$$

olarak ve bu değere göre en iyi karar değişkeni çözümü

$$IQ(JS,k+1)=IC(kx,k+1)$$

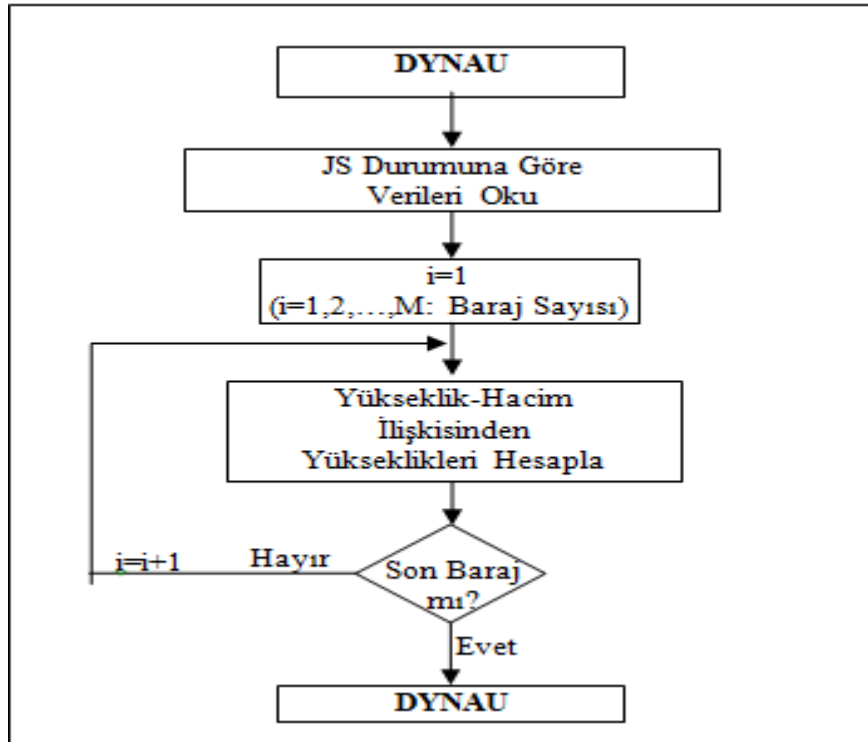
seçilmekte olup, buradan itibaren işletme seviyelerinin belirlendiği denklemde, $k=k+1$ alınarak, yukarıda anlatılan süreç JS-durum değeri göstergesi için son aşamaya gelinceye kadar sürdürülmektedir.

A.1.4. Hdatu (Alt Program)

Alt program DYNAU' nun çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, maksimum ve minimum depolanan su miktarlarını, seviye-hacim arasındaki ilişkisi gösteren denklemler içerisinde kullanarak, bütün barajlara ait yükseklik matrisini hesaplayan bir yapıya sahiptir.

Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. Alt program DYNAU' da amaç fonksiyonu ile ilgili aşama faydasını belirlendiği yerde, JS-durum değeri göstergesine karşılık olan barajda herhangi bir ii-durum değişkenine ait depolanan su miktarına göre JSxii boyutunda yükseklik matrisinin oluşturulması için alt program

HYESİLU' ya minimum ve maksimum depolanan su miktarları değerleri girdi olarak gönderilmektedir. Bu alt programda, bu değerler ile her bir barajda bulunan su miktarlarına karşılık gelen yükseklik değerleri, yükseklik-hacim eğrisinin oluşturduğu denklem ile hesaplanabilmektedir. Buradan alt program DYNAU' ya geri dönülmektedir.



Şekil A.6. Alt programın HDATU için genelleştirilmiş akış şeması

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akın M.F., Opan M., Seyhan Nehri Havza'sında Bulunan Çok Barajlı Bir Su Kaynakları Sisteminde Optimal Enerji Üretimi, *4. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 23-24 Nisan 2019.



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Batman’da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Batman Fatih İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Batman Fatih Lisesi’nde tamamladı. 2014 yılında Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

