KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK BARAJLI HAVZALARDA UZUN SÜRELİ PLANLAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Temel TEMİZ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Danışman: Yrd. Doç Dr. Adnan ÖNER

KOCAELİ, 2008

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK BARAJLI HAVZALARDA UZUN SÜRELİ PLANLAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Temel TEMİZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 21 Temmuz 2008

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. Adnan ÖNER

Üye
Prof.Dr. Zerrin ALADAĞ

Üye
Doç.Dr. Hafzullah AKSOY

KOCAELİ, 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışma, çok amaçlı ve çok barajlı sistemlerde sulama ile birlikte enerji üretiminin uzun süreli optimal işletilmesi üzerinedir. Burada yapılan işletme çalışmasında, su kaynakları sisteminden aynı anda sulama ile birlikte enerji üretiminin enbüyüklenmesi amacı gözetilerek yapılmıştır.

Bu çalışma süresince, ilgisini, bilgisini, kısaca bugüne kadar edinmiş oldukları tüm deneyimlerini benden esirgemeyen hocam merhum Prof. Dr. Mahmut SERT'E ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. Adnan ÖNER'E teşekkürü bir borç bilirim

Tezimin son safhalarında yanımda olduklarını hiçbir zaman unutmadığım değerli hocalarım Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK'E ve iş arkadaşım Arş. Gör. Dr. Mücahit OPAN'A çok teşekkür ediyorum.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen ve sürekli eksiklerimi gidermeye çalışan anneme, babama, kardeşlerime ve Tuğba KARTALTEPE' YE en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarımı bitirmem için beni sürekli çalışmaya teşvik eden değerli dostlarım ve iş arkadaşlarımın tümüne teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii

ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR vii
ÖZET ix
İNGİLİZCE ÖZET x
1. GİRİŞ 1
1.1.Çok Barajlı Havzalarda Çok Amaçlı Optimizasyon Kriterleri 1
1.2. Çok Barajlı Sistemlerde Uzun Süreli Planlama 2
1.3. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu 3
1.4. Çok Barajlı Sistemlerde Optimizasyon Yapısı içinde Parametrik Değişken Kullanımı 4
1.5. Uygulama Amaçlı Olarak Munzur Nehir Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi 5
2. SU KAYNAKLARINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU 6
2.1. Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi 6
2.2. Dinamik Programlama 7
2.2.1. Dinamik programlamada bilgisayar belleği ve zamanı 16
2.2.2. Ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama 17
2.3. Modellemede Kullanılan Araç: MATLAB ile Programlama 18
2.3.1.MATLAB programlama dili 20
2.3.2.Geliştirme ortamı 20
2.3.3.Grafik işlemleri 21
2.3.4.MATLAB matematiksel fonksiyon kütüphanesi 21
2.3.5.MATLAB uygulama programı arabirimi 21
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ 22
3.1. Sistemin Tanımlanması 22
3.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli 27
3.3 Parametrik Değişken Yaklaşımı 29
4. MUNZUR AKARSU HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ 31
4.1. Giriş 31
4.2. Buharlaşma Değerleri 35
4.3. Hacim-Alan-Yükseklik İlişkileri 37
4.4. Barajlara gelen akımlar 39
4.5. Sulama – Fayda İlişkisi 52
5. MUNZUR AKARSU HAVZASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR 54
5.1 Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar 54
5.1.1. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modele giren veriler 54
5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler 55

5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler..... 59
5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler 60
5.1.5. Toplam fayda değerinin (sulama + enerji) enbüyüklenmesinde modele girilen veriler 63
5.1.6. Toplam Fayda (sulama+enerji faydası) için Elde Edilen Sonuçlar..... 64
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... 68
KAYNAKLAR 70
EKLER..... 75
ÖZGEÇMİŞ 94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Uzun Süreli optimal işletme çalışması süreci……...3
Şekil 2.1: Dinamik programlamada aşamalar arası ilişkinin şematik gösterimi 9
Şekil 2.2: Dinamik programlamada herhangi bir aşamasındaki durum değeri ve durum-karar değişkeninin şematik gösterimi 11
Şekil 3.1: Birbirine seri bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü 22
Şekil 3.2: Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri 22
Şekil 4.1: Munzur Akarsu Havzası'nın şematik görünüşü..... 32
Şekil 4.2: Munzur Akarsu Havzası'nda Munzur Akarsuyu ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü 33
Şekil 4.3: Uzunçayır Barajı'nın görüntüsü..... 34
Şekil 4.4: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar..... 46
Şekil 4.5: Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar 46
Şekil 4.6: Sulama Suyu değişimi ile Sulama suyu faydası 53
Şekil 5.1: Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait 48 aylık akımlar 54
Şekil 5.2: Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan 48 aylık akım miktarları 56
Şekil 5.3: Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan 48 aylık akım miktarları 57
Şekil 5.4: Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri 57
Şekil 5.5: Kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri..... 58
Şekil 5.6: Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar 60
Şekil 5.7: Barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları 61
Şekil 5.8: Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları..... 61
Şekil 5.9: Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri 62
Şekil 5.10: Aylık toplam güç değerleri 63
Şekil 5.11 Sulama suyu miktarına karşılık sulama suyu faydası 65
Şekil 5.12: Sulama suyu miktarına karşılık enerji faydası..... 66
Şekil 5.13: Sulama suyu miktarları karşılık toplam fayda değerleri..... 67

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1: Munzur Akarsu Havzası' nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağlı bulunan barajlara ait veriler [Sert, 1982] 34
Tablo 4.2: Munzur Akarsu Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında Y.Konaktepe Barajında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Sert, 1982]..... 35
Tablo 4.3: Munzur Akarsu Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında Kaletepe Barajında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Sert, 1982]..... 36
Tablo 4.4: Munzur Akarsu Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında Uzunçayır Barajında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Sert, 1982]..... 36
Tablo 4.5: Y.Konaktepe Barajı yükseklik hacim ilişkileri..... 37
Tablo 4.6: Kaletepe Barajı yükseklik hacim ilişkileri..... 38
Tablo 4.7: Uzunçayır Barajı yükseklik hacim ilişkileri 38
Tablo 4.8: Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde yükseklik hacim ilişkisi parametreleri ($h=a.V^n$, h (m), V (10^7 m^3))..... 38
Tablo 4.9: Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde alan yükseklik ilişkisi parametreleri ($A=b.h^m$, A (10^6 m^2), h (m))..... 39
Tablo 4.10: Y.Konaktepe Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)..... 40
Tablo 4.11: Gülyayla Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s) . 41
Tablo 4.12: Kaletepe aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s) 42
Tablo 4.13: Tunceli Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s).... 43
Tablo 4.14: Uzunçayır Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)44
Tablo 4.15: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (m^3/s)..... 45
Tablo 4.16: 1971-1975 yılları arasında Y.Konaktepe Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)..... 47
Tablo 4.17: 1971-1975 yılları arasında Gülyayla Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)..... 48
Tablo 4.18: 1971-1975 yılları arasında Kaletepe Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)..... 49
Tablo 4.19: 1971-1975 yılları arasında Tunceli Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)..... 50
Tablo 4.20: 1971-1975 yılları arasında Uzunçayır Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)..... 51
Tablo 5.1: Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri 55
Tablo 5.2: Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları... 55
Tablo 5.3: Y.Konaktepe Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay)..... 55
Tablo 5.4: Kaletepe Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay)..... 55
Tablo 5.5: Uzunçayır Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay) 55

Tablo 5.6: Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri..... 58
Tablo 5.7: Barajların aylık güç değerleri 62
Tablo 5.8: Sulama suyu miktarına karşılık ortalama ve sekonder güç değerleri 65
Tablo 5.9: Sulama suyu miktarına karşılık Toplam Fayda Değerleri 66

SİMGELER VE KISALTMALAR

x_t : t-aşamasındaki durum değişkeni
d_t : t-aşaması için karar değişkeni
r_t : t-aşaması için aşama dönüşüm fonksiyonu
R : Gerekli bellek boyutu (bytes)
T_E : Gerekli bilgisayar zamanı (s)
t : Aşama sayısı, (Zaman)
m : Baraj sayısı
T_a : Bilgisayar tipine bağlı bir katsayı
X : Hazneye giren akımlar
Y : Hazneden çıkan akımlar
$S_{i,t}$: i- barajında t-zamanında depolanmış su miktarları
$F_{i,t}$: 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 miktarı
$I_{i,t}$: i-barajından t-zamanda çekilen sulama suyu miktarı
S_i^{Min} : i-barajında depolanan minimum su miktarı
S_i^{Maks} : i-barajında depolanan maksimum su miktarı
Q_i^{Maks} : i-barajında enerji üretimi için bırakılabilecek maksimum su miktarı
R_i^{Maks} : i-barajında dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı
$S_{i,t}^{Nor}$: i-barajında t-zamandaki aylık normal işletme seviyesi
$S_{i,t}^{Min}$: i-barajında t-zamandaki aylık minimum işletme seviyesi
$W_{i,t}$: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),
$P_{i,t}$: i-barajında t-zamanda elde edilen ortalama güç
$P_{i,t}^{Aç}$: i-barajında t-zamanda enerji açık miktarı
P_{k_i} : i-barajındaki kurulu güç
P_G : Güvenilir güç,
p_G : Güvenilir enerji birim fiyatı
p_S : Sekonder enerji birim fiyatı
k_i : i-barajında enerji üretim katsayısı
dk_i : i-barajında tünel çapına ve sürtünme özelliklerine bağlı bir katsayı
l_i : i-barajında taşıma tüneli uzunluğu
$h_{i,t}$: i-barajında t-zamandaki ortalama net düşü

$h^*_{i,t}$:Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği

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

Kısaltmalar

DP : Dynamic programming
DDP : Discrete dynamic programming
IDP : Incremental dynamic programming
DDP : Differential dynamic programming
DDDP : Discrete differential dynamic programming
DPSA : Dynamic programming with successive approximations
IDPSA: Incremental dynamic programming with successive approximations
MIDP : Multilevel incremental dynamic programming
SDP : Stochastic Dynamic Programming

ÇOK BARAJLI HAVZALARDA UZUN SÜRELİ PLANLAMA

Temel TEMİZ

Anahtar kelimeler: Su Kaynaklarının Planlaması, Çok Barajlı Çok Amaçlı Sistemler, Uzun Süreli Optimal İşletme, Parametrik Değişken Yaklaşımı, Sulama, Enerji Üretimi, Dinamik Programlama.

Özet: Su kaynaklarının optimal olarak planlanması ve işletilmesi, ülke ekonomileri, hayat standardı, ulaşım ve çevre kirliği gibi etkenleri içerisinde barındıran karmaşık bir yapıya ve sürece dayanmaktadır. Buradaki karmaşık yapının içerisine, amaçlar ve öngörülen kriterler de yerleştirildikten sonra, su kaynakları sisteminden maksimum faydayı elde etmek ilk hedef olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi tanımlanmıştır. Sistem uzun süreli planlama işletme optimizasyon modeli üzerine kurulmuştur. Modelde, ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

Kurulan model, Munzur Akarsu Havzası'nda Munzur Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemine uygulanmıştır. Sistemde ilk olarak kurak dönem akımlarıyla güvenilir güç enbüyüklenmeye çalışılmıştır. Elde edilen güvenilir güç sistemde kısıt olarak tanımlandıktan sonra, sulama suyu parametrik olarak değiştirilerek toplam enerji enbüyüklenmiştir. Sistemden elde edilen sonuçlar enerji ile birlikte sulama suyu faydasının enbüyüklenmesi açısından değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, sulama suyu miktarı arttıkça sulama faydasının arttığı, enerji faydasının azaldığı ve toplam fayda değerinin belirli bir sulama değerinde en büyük değere ulaştığı görülmüştür. Bu sulama miktarı 60.10^6 m^3 olup toplam fayda değeri $197{,}751.10^6$ YTL'dir. Ayrıca büyük depolama hacmine sahip barajın optimal işletmeyi yöneten ve yönlendiren durumda olduğu sonucuna varılmıştır.

LONG TERM PLANNIG IN MULTIPLE RESERVOIR BASIN

Temel TEMİZ

Keywords: Water Resources Planning, Systems with Multi-objective and Multiple Reservoir, Long Term Optimal Operation, Parametric Variation Approach, Irrigation, Energy Production, Dynamic Programming

Abstract: Optimal planning and operation of water resources are depend on a complex structure and process that include country economics, life standards, and environment pollution. After adding objectives and suggested critics in this complex structure, taking the maximum benefit from water resources systems can be seen as the first target.

In this study, a water resources system with multi-objective and multiple reservoirs is described. This system is set up on the optimal operation model for the long term planning. The technique of the dynamic programming with successive approximations is used for this model.

Established model is applied to a water resources system with multi-objective and multiple reservoirs presented successively on the main line of the Munzur River in the Munzur River Basin. Firstly, the maximization of the firm power is studied with the flow data of the draught term. Firm power obtained is described as a constraint in the system, and then total energy in the same model is maximized by changing irrigation water parametrically. Results obtained are evaluated to the maximization of the irrigation water benefit with energy.

As a result, it has showed that irrigation water benefit was increased, energy benefit was decreased and total benefit at a defined irrigation water was maximized, when the irrigation water amount is increased. This irrigation water amount is 60.10^6 m^3 and total benefit for this water amount is $197,751.10^6$ YTL. Therefore, it has resulted that the reservoir with large storage volume should be operated and managed to the optimal operation.

1. GİRİŞ

1.1. Çok Barajlı Havzalarda Çok Amaçlı Optimizasyon Kriterleri

Kullanılabilir kalitede su kaynaklarının, makul ekonomik çevrede temini ve topluma sunulması su kaynakları mühendisliğinin güncel sorunudur. Su hayati önem taşımakla birlikte modern toplumda tarımsal üretimi, sanayi kullanımı ve enerji üretimi açılarından büyük önem taşır. Ayrıca sınırlı su kaynakları giderek artan bir nüfus ile birlikte modern toplum talepleri karşısındadır ve su kaynakları yönetimi buna paralel bir dikkatle ele alınmalıdır.

Hidrolojik koşulları 2-3 ay önceden bilmek imkansızıdır, bu yüzden su kaynakları sisteminin en doğru işletilebilme politikalarının belirlenebilmesi de oldukça güç ve karmaşık bir yapıya bürünmektedir. Daha iyi hava tahminlerinin yapılması daha fazla veri alınmasını sağlamaktadır. Elde edilen bu verilerin sayesinde ise, binlerce karar değişkeni ve kısıt içeren karmaşık su kaynakları sistemlerinin planlama ve işletilmesinde optimizasyon teknikleri başarı ile uygulanmaktadır. Ancak amaçların ve kısıtların çokluğu ve farklılığından dolayı her havza sistemine uygulanabilecek genel bir algoritma bulmak zordur. Bu nedenle her havza sistemi için, o havzanın özelliklerine uygun amaç ve kısıtların belirlenmesi verilerin toplanarak modelinin kurulup algoritmasının oluşturulması gerekmektedir.

Optimizasyon modelleri içerisine yerleştirilen işletme politikalarının geliştirilmesi 30 yılı aşkın süredir popülerliğini korumaktadır. 1980'li yılların başlarından su kaynakları sistemleri için teorik çalışmalar yapılmış ve bu çalışmaların gerçek hayata uygun bir hale getirilebilmesi için çeşitli formüller geliştirilmiştir. Bu formüller ve işletme politikaları ile birlikte mevcut suyun en iyi şekilde kullanılmasına çalışılmaktadır. Bu çalışmalar yapılırken su kaynakları sisteminin işletme tekniği

birbirini izleyen iki unsuru içerisinde barındırır: Rezervuara giren akımın tahmini ve rezervuardan çıkan akımın optimizasyonudur. Bu unsurlar,

İşletme ve planlama projelerinin perspektifinden değişik bir rezervuar kararı için nicel bir ilke geliştirme, benzetim ve optimizasyon sayesinde başarılabilir. Birçok rezervuar işletme problemlerinin analizi için en etkili strateji benzetim ve optimizasyonun her ikisinin birlikte kombinasyonu gerektirmektedir.

1.2. Çok Barajlı Sistemlerde Uzun Süreli Planlama

Çok barajlı sistemlerde uzun süreli planlama, sistem içerisinde bulunan barajların öngörülen ekonomik ömrü boyunca elde edilecek faydanın optimal olmasını amaçlamaktadır. Bu nedenle, sistemin en uygun ve az maliyet göz önüne alınarak boyutlandırılması uzun süreli optimal işletme politikalarındaki amaçlanan ilk hedef olarak düşünülmektedir. Sistem en uygun maliyet amaçlanarak boyutlandırılırken göz önünde bulundurulması gereken kriterler, sistemden elde edilmesi düşünülen faydaların tamamından en büyük fayda ve en küçük zararı elde etmek olmalıdır. Bu kapsamda gözetilecek amaçlar enerji üretimi (güvenilir enerji ve toplam enerji), sulama, içme suyu ve ulaşım gibi alanlarda en yüksek faydayı elde edebilmekle birlikte, taşkın zararları, kuraklık ve kirlilik gibi ekolojik dengenin bozulmasının önüne geçerek en düşük zararlarla sistemden en yüksek faydayı elde edebilmek olmalıdır.

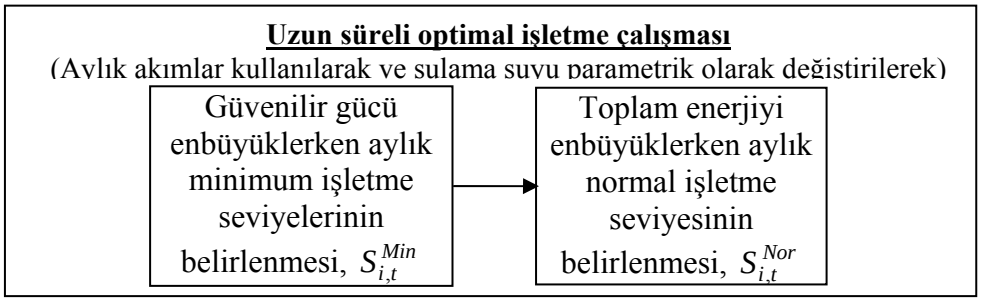
Sistem uzun süreli optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçları (güvenilir enerji ve toplam enerji faydası) enbüyüklerken, sulama suyunun parametrik olarak kullanımından en büyük faydayı elde etmeye yönelik olarak amaçlanmıştır.

Burada sunulan çalışmada, çok barajlı ve çok amaçlı bir su kaynakları sistemi tanımlandıktan sonra, bu sistemde sulama suyu miktarının, enerji üretimi üzerine etkilerini incelemek amacıyla uzun süreli planlama çalışmaları yapılmıştır. Bu planlama neticesinde, 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 enbüyüklenmiş güvenilir güç değeri belirlenmiştir. Bu güvenilir güç değeri, aynı modelde kısıt olarak tanımlanarak ve sulama suyu miktarları parametrik olarak değiştirilerek, toplam enerji enbüyüklenmekte ve normal işletme seviyeleri elde edilmektedir. Sulama suyu miktarına karşılık olarak sulama suyu faydası ve enerji faydası değerleri hesaplandıktan sonra, bu veriler ile toplam fayda değerleri elde edilmiştir. Sulama suyu miktarına karşılık olarak fayda değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmiş ve bu ilişkilerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.3. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama (DPSA) optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada, kritik dönemin (kurak dönem) aylık akımları kullanılarak güvenilir güç enbüyüklenmekte ve aylık minimum işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) elde edilmektedir. Buradan enbüyüklenen güvenilir güç, aynı modelde kısıt olarak kullanılıp, sulama suyu parametrik olarak değiştirilerek aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmektedir ve aynı zamanda aylık normal işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Nor}$) belirlenmektedir. Burada, i=1,2,3.. M, M:Baraj sayısını, t=1,2,3,…KM, KM:İşletme süresini (ay olarak) göstermektedir. Şekil 1.1' de, uzun süreli optimal işletme çalışması süreci özetlenmiştir.



Şekil 1.1: Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci

1.4. Çok Barajlı Sistemlerde Optimizasyon Yapısı içinde Parametrik Değişken Kullanımı

Çok barajlı sistemlerde barajlar birçok amaca hizmet etmektedir. Bu doğrultuda yapılan optimizasyon çalışmalarında, enerji faydası ile birlikte sulama-içme suyu faydasının enbüyüklenmesi, enerji faydası enbüyüklenirken taşkın zararının enküçüklenmesi enerji ve sulama faydası enbüyüklenirken, taşkın zararının enküçüklenmesi gibi kriterler amaçlanabilir.

Bu faydaların birlikte kullanılması bu çalışmada yapıldığı gibi parametrik değişken yaklaşımı ile mümkün olmakla birlikte hedef programlama tekniği kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir.

Parametrik değişkenin optimizasyon yapısındaki işleyişi aşağıda kısaca tanımlanmaktadır.

1-) Parametrik değişkenin alt ve üst sınırları belirlenir ve bu sınırlar arasında bir değer atanır. (Örneğin: Sistemden çekilen sulama suyu miktarının sırasıyla 30.10^6 m^3, 60.10^6 m^3, 90.10^6 m^3 olması gibi)

2-) Optimizasyon yapısı içerisinde kullanılan bu değerin, optimizasyon çalışmalarında sisteme getireceği fayda bilinmektedir. (Örneğin: Parametrik değişken olarak kabul edilen sulama suyu miktarına karşılık gelen sulama suyu faydasının optimizasyon yapılmadan önce bilinmesi gibi)

3-) Optimizasyon yapısında kullanılan yapısal denklemler içerisine parametrik değişken olarak yerleştirilen her bir değişkenin yeni değerine karşılık olarak amaç fonksiyonunun ürettiği yeni değerin belirlenmesi. (Örneğin: Sulama yapılmadan önce sistemden X seviyede enerji elde edilirken, her bir sulama miktarı için yeni bir değerin elde edilmesi gibi)

4-) Optimizasyon öncesinde bilinen parametrik değişken faydası ile amaç fonksiyonun ürettiği yeni fayda değeri arasında bir ilişki ortaya çıkartılması.

(Örneğin: Optimizasyondan önce enerji faydası X iken, optimizasyon sonrasında X < veya > (sulama + enerji) faydası olarak ilişkilendirilebilir.)

Tek amaç fonksiyonu olan optimizasyon yapısı içerisinde yapısal denklemlerin içerisine istenilen amaçlar doğrultusunda gerektiği kadar parametrik değişken kullanılabilir. Bu değişkenler çok barajlı sistemlerde güvenilir enerji, sulama-içme suyu, kuraklık-taşkın kontrolü ve kirlilik kontrolü gibi parametreler olabilir.

1.5. Uygulama Amaçlı Olarak Munzur Nehir Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi

Munzur Nehir Havzası'nda, Munzur nehri ana kolu üzerinde birbirine ardışık olarak bağlı çok barajlı bir sistem bulunmaktadır. Bu sisteme ait barajlar, sırasıyla, Y. Konaktepe, Gülyayla, Kaletepe, Tunceli ve Uzunçayır barajlarıdır. Bu barajlar enerji amaçlı olarak planlanmışlardır. Bu barajlardan Gülyayla ve Tunceli Barajları biriktirmesiz, diğer barajlar ise biriktirmelidir. Bu barajlara ait teknik ayrıntılar, Bölüm 4' de verilmektedir.

Burada yapılan işletme modelinde akım miktarı 10^7 m^3, zaman boyutu ise ay olarak alınmıştır.

2. SU KAYNAKLARINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU

2.1. Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi

Su kaynakları, genel alarak yeraltı suyu ve yüzey suyu olarak ikiye ayrılabilir. Bu kaynakları birbirleriyle etkileşim içerisinde kullanarak en iyi faydayı elde edebilmek zor ve karmaşık bir planlama dönemini gerektirmektedir. Bu planlama döneminde, optimal çözümlere ulaşmak için sistem konfigürasyonu, boyutlandırılması ve işletilmesi birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca, bu kaynakların üzerinde bulunan bazı tesislerin inşaat halinde olmaları, planlama dönemi içerisine dahil edilmelidir. Su kaynaklarında sistem optimizasyonu için kullanılan teknikler,

- Ampirik veya heuristik yaklaşımlar,
- Matematiksel programlama yöntemleri
- Benzetim yöntemleri

olarak sınıflandırılabilir. Bu tekniklerin her biri tek barajlı sistemlere uygulanabildiği gibi çok barajlı sistemlere de uygulanabilir. Ampirik veya heuristik tekniklerden kesin optimal çözümler elde edilememektedir. Fakat bazı durumlarda tecrübe ile beraber bu tekniklerle de oldukça güvenilir çözümlere ulaşılabilmektedir. Çok barajlı sistemlerin planlaması için son yıllarda matematiksel programlama ve benzetim yöntemleri kullanılarak yapılan modeller üzerine birçok araştırma bulunmaktadır. Bu alanda optimal sonuçlar elde etmek için etkin olarak kullanılan başlıca matematiksel programlama yöntemleri,

1. Dinamik programlama
2. Doğrusal programlama
3. Doğrusal olmayan programlama
4. Şans kısıtlı programlama

olarak sıralanabilir. Ancak Dinamik programlama dışında kalan yöntemlerde enerji üretim grafiği doğrusal olarak artmadığından, optimal çözüm elde etmekte dinamik programlamanın daha etkili olduğu görülmüştür.

Benzetim yönteminde ise, sistemin parametrelerinde yapılan değişikliklerle deneysel olarak en iyi çözüm aranmaktadır. Burada, en iyi çözümün elde edileceğinin garantisi yoktur. Ancak, benzetim yöntemi, matematiksel programlamaya dayanan optimal politikalar ile birlikte kullanıldığında çok yararlı olabildiği de görülmüştür. Bu sayede, sistemin deterministik yapıdaki optimizasyon modelinden elde edilen sonuçları, sistemin benzetim modelinde türetilen akım serileri ile birlikte değerlendirilerek, akım serilerinin stokastik özelliğinden kaynaklanan risklerine ulaşılabilmektedir.

Bu çalışmada, çok barajlı bir sistemde, dinamik programlama tekniğinin kullanıldığı uzun süreli planlama işletme optimizasyonu modelleri kurulmuştur. Uzun süreli planlamada ilk olarak kurak dönem akımları kullanılarak güvenilir güç değeri belirlenmiştir. Elde edilen bu güvenilir güç değeri sisteme kısıt olarak tanımlanmış ve sulama suyu gereksinimleri parametrik olarak sisteme girilerek sistemin enerji faydasının değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Sistemden amaçlanan, sulama ve enerji üretiminin birlikte toplam faydasının en büyüklenmesidir.

2.2. Dinamik Programlama

Baraj işletmesinde çok sayıda optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. Ancak, çok amaçlı çok barajlı su kaynaklarının olduğu havzalarda, sistemin karmaşıklığından dolayı genel bir algoritma kurmak güçtür. Su kaynakları sistemlerinde en uygun yöntem olarak dinamik programlama yöntemi çok yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Dinamik programlama optimizasyon modelini geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalar, genelde bilgisayarda bellek ve zaman kullanımını azaltmak amacıyla; çok baraj, çok amaç ve çok kısıtı işleme dahil etmek zor olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, dinamik programlama üzerine farklı yaklaşımlar ve değişik çözüm alternatifleri geliştirilmiştir.

Dinamik programlama, ilk olarak Bellman (1957) tarafından geliştirilmiştir. Bu programlama tekniği genelde, su kaynakları planlaması ve yönetimi üzerine, özellikle de 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 etkili bir şekilde ele alabilmektedir. Yine, Bellman ve Dreyfus (1962), çok boyutlu sistemlerin dinamik programlama ile optimizasyonu için lagranj çarpanları ve ardışık yaklaşım tekniğini önermişlerdir. Ayrıca, ayrık dinamik programlama' yı (DDP: Discrete dynamic programming) geliştirerek işlem sayısını azaltma yolu ile hesaplama kolaylığı sağlamaya çalışmışlardır (Nopmongcol ve Askew, 1976).

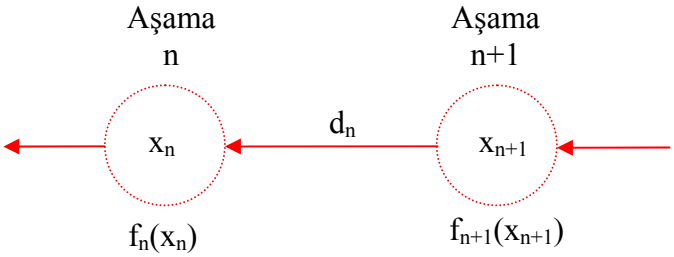
Bir problemin çözümü için gerekli işlem sayısı, yaklaşık olarak değişken sayısı ile üssel, alt problem sayısı ile de doğrusal bir şekilde artmaktadır. Dinamik programlamada ise, işlem ve dolayısı ile zaman kaybını azaltmak için n değişkenli bir fonksiyon, tek değişkenli n fonksiyon şekline dönüştürülerek çözüm aranmaktadır. Dinamik programlamanın bir diğer avantajı ise, gerek amaçlarda gerekse kısıtlarda doğrusallık koşulu aranmadığı gibi sistemin bir bütün olarak düşünülmesi de gerekmemektedir. Baraj işletmesinde de çok adımlı karar verme problemi yerine, her bir adımda tek bir karar verilmesini sağlamakta ve problemi oldukça çözümü kolay bir hale getirmektedir.

Dinamik programlama, içerisinde üç değişken tipini barındırmaktadır. Bunlar;

- Sistemin davranışını olduğu gibi tanımlayan ve sistemin herhangi bir andaki durumunu gösteren durum (state) değişkenleri, ((x), sistemde barajın işletme seviyesidir.)
- Seçilen bir amaca göre sistemin kontrol edilebilir girdileri hakkında karar vermeyi sağlayan karar değişkenleri, ((d), sistemde barajdan enerji üretimi için bırakılan su miktarıdır.)
- Bu kararların verildikleri aralıkları belirleyen aşama (stage) değişkenleri, ((t), sistemde zamanı göstermektedir.)

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

Dinamik programlamada aşamalar arası ilişki Şekil 2.1' de gösterilmektedir. Şekil 2.1'de görüleceği üzere (n+1) aşamasında x_{n+1} durumunda bulunan $f_{n+1}(x_{n+1})$ optimal değeri ile n aşamasındaki f (x_n) değerini optimum yapacak d_n karar değişkeni aranmaktadır. Çözüm (n+1). aşamadan 1. aşamaya kadar tekrarlanmaktadır. Bu çözüm şekli geriye doğru dinamik programlama (backward dynamic programming) olarak tanımlanmaktadır. Benzer şekilde çözümün 1. aşamadan (n+1). aşamaya doğru çözümü ise, ileriye doğru dinamik programlama (forward dynamic programming) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.1: Dinamik programlamada aşamalar arası ilişkinin şematik gösterimi

Geriye doğru dinamik programlamada aşama dönüşüm denklemi;

$$f_t(x_t) = \max[r_t(x_t, d_t) + f_{t+1}(x_{t+1})] \qquad (2.1)$$

şeklindedir. Burada,

x_{t+1} :t+1-aşamasındaki durum değişkeni

x_t : t-aşamasındaki durum değişkeni

d_t :t-aşaması için karar değişkeni

r_t : t-aşaması için aşama dönüşüm fonksiyonu

olarak tanımlanmakta olup, başlangıçta $f_{t+1}(x_{t+1})$ 'in değeri verilmektedir.

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 2.2' de gösterilmektedir. Şekil 2.2' de yatay eksen, aşama olarak zamanı (t=1,2,3,...), düşey eksen durum değerini, düşey eksendeki 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 hassasiyete göre eşit aralıklı durumlara ayrılmaktadır. İki durum değeri arasındaki süreklilik, su dengesi ilişkisi ile sağlanmaktadır. Su dengesi ilişkisi;

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - B_{i,t} - I_{i,t} \tag{2.2}$$

şeklindedir. Burada,

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

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

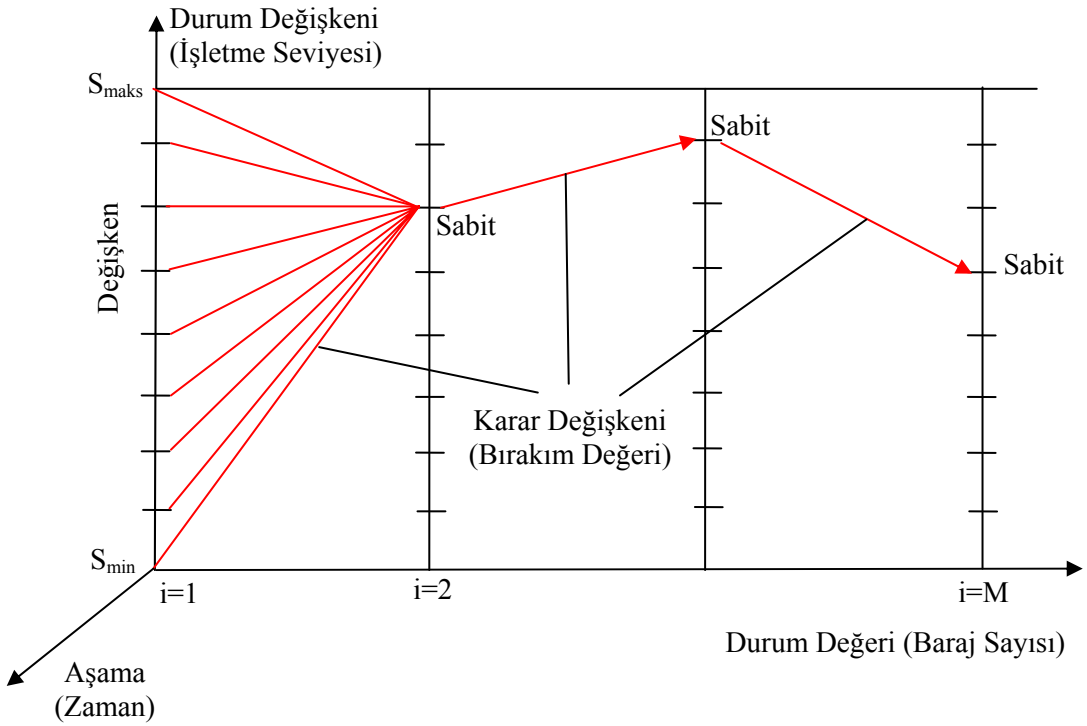
$Q_{i,t}$: i-barajından t-zamanda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı

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

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

$I_{i,t}$: i-barajından t-zamanda çekilen sulama suyu miktarı

olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.2: Dinamik programlamada herhangi bir aşamasındaki durum değeri ve durum-karar değişkeninin şematik gösterimi

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: Incremental dynamic programming)

2. Farksal dinamik programlama (DDP: Differential dynamic programming)

3. Ayrık farksal dinamik programlama (DDDP: Discrete differential dynamic programming)

4. Ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama (DPSA: Dynamic programming with successive approximations)

5. Ardışık yaklaştırmalı artırımlı dinamik programlama (IDPSA: Incremental dynamic programming with succesive approximations)

6. Çok-seviyeli artırımlı dinamik programlama (MIDP: Multilevel incremental dynamic programming)

olarak göz önüne alınabilir.

Deterministik dinamik programlamada ilk çalışmanın Young (1967) tarafından sadece bir barajın işletmesinde kullanıldığı görülmektedir (Yakowitz, 1982). Young (1967) baraj hacmini durum değişkeni olarak kullanmıştır. Daha sonra benzer bir çalışma Hall ve diğ. (1969) tarafından Kaliforniya'da Shasta Barajı'nda uygulanmıştır. Larson (1968) hafıza kullanımı ve işlem sayısını azaltmak için IDP modelini önermiştir ve dört barajlı bir sisteme Bellman ve Dreyfus (1962) ardışık yaklaştırmayı kullanarak uygulamıştır. Hall ve diğ. (1969) 'da daha önceki çalışmasını enerji faydası, güvenilir su, taşkın kısıtı gibi ilaveler ile geliştirmiştir. Roefs ve Bodin (1970) yöntemi birden fazla baraja sahip sistemlere uygulamıştır. Heidari ve diğ. (1971) ise dört barajlı bir sistem için işlem sayısını azaltmaya yönelik olarak DDDP modelini geliştirmiştir. Gerçekte DDDP yöntemi IDP yönteminin genelleştirilmiş halidir. IDP yönteminde her aşamada (zaman periyodunda) sabit olan durum artımları, DDDP yönteminde her aşamada farklı olarak alınmıştır. Ancak, Heidari ve diğ. (1971) çalışmalarında her aşamada farklı alınması gereken bu durum artımlarının nasıl olacağını net olarak açıklamamış, sadece uygun bir artım olarak belirtmişlerdir (Turgeon, 1982). Larson (1968) tarafından geliştirilen IDPSA daha sonra Trott ve Yeh (1971), Yeh ve Trott (1972), ve Giles ve Wunderlick (1981) tarafından çok barajlı sistemlere uygulanmıştır. Nopmongcol ve Askew (1976) IDP yöntemini yine çok baraj ve çok amaçlı sistemler için geliştirerek MIDP yöntemini önermiştir. Turgeon (1982), IDP yönteminde her aşamada durum değişkenlerinin eşit olarak artırılması halinde optimal olamayan yerel çözümler elde edilebileceğini göstermiş ve her aşamada artım miktarının farklı alınmasını ve farklı

başlangıç politikaları ile sistemin birkaç kez çözülmesini önermiştir, Yakowitz (1982) durum artımlarının ve başlangıç politikasının uygun seçilmesi halinde IDPSA yönteminin gerçek optimumu bulması ve boyut problemini azaltmasının diğer yöntemlerden daha iyi olduğunu göstermiştir. Yakowitz (1982) ve Yeh (1985) su kaynaklarında kullanılan optimizasyon yöntemleri karşılaştırarak IDPSA yönteminin ve 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 yöntemleri ile birlikte kullanmıştır. Beyazıt ve Duranyıldız (1985, 1987, 1988a ve 1988b) ise, yine Orta Sakarya Havzası'nın enerji üretiminin enbüyklenmesinde ve Ankara Su Temini Projesi'nde kullanmıştır. Sert (1986) havza planlamasında genel amaçlı sistem yaklaşımı tanımlamıştır. Sert (Eylül 1987 ve Haziran 1987) su kaynakları planlamasında sistem optimizasyonunun gerekliliğini vurgulamıştır. Karamouz ve diğ. (1992) Baltimore yakınında Gunpowder Havzası'nda çok barajlı bir su kaynakları sistemine DDP' yi uygulamıştır. Labadie (1999) tarafından Genelleştirilmiş Dinamik Programlama Yazılım Paketi CSUDP (DPSA tabanlı) üretilmiş, bu paket içinde Nopmongcol ve Askew (1976) tarafından önerilen bir çözüm strateji kullanılarak, çözümlerin optimumun çevresinde hızlı bir şekilde uzlaşması sağlanmıştır. Yurtal (1993, 1995) çok barajlı sistemlerinin enerji optimizasyonu için IDPSA tekniğini, Türkiye'de, Seyhan Havzası'ndaki çok barajlı sisteme başarıyla uygulamıştır.

Güvel (1997), Türkiye' de Ceyhan ve Seyhan Havzaları'na taşkın kontrolü ve enerji optimizasyonu amaçlı olarak HEC–5 benzetim programını uygulamıştır. Akbulut (2003), Türkiye'de Ceyhan Havzası' na, enerji üretimi, taşkından korunma ve sulama faydası gibi çok amaçlı olarak baraj sisteminin işletme çalışmaları amacıyla HEC–5 benzetim programını uygulamıştır.

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.

Akımların stokastik özelliklerinden dolayı, gözlenmiş akımlarla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların gelecekte aynı şekilde gerçekleşeceği garanti edilemez, ancak benzerinin olacağı kabul edilebilir. Akımların bu stokastik özelliklerini de dikkate alan Stokastik Dinamik Programlama (SDP): modelinin ilk olarak baraj işletmesine uygulanması 1946'da Maass ve 1955'de Little tarafından yapılmıştır, (Yakowitz, 1982).

Baraj işletme problemlerinin çözümünde iki stokastik DP yaklaşımı vardır. Bunlar;

1. Ardışık yaklaşımlarla Markov zincirleri yöntemi,

2. Çok barajlı sisteme giren akımların olasılık dağılımlarının her aşamadaki optimum kararlara dönüştürülmesi esasına dayanan dizisel stokastik optimizasyon yöntemleri

şeklindedir. İlk yöntem baraj işletmesinde, Butcher (1968, 1971), Loucks ve Falkson (1970), Dudley ve Burt (1973), Terabi ve Mobasheri (1973), Su ve Deininger (1974), Mawer ve Thorn (1974) ve Turgeon (1980 ve 1981) tarafından farklı yaklaşımlarla uygulanmıştır, (Yeh, 1985).

İkinci grup yöntemler ise, Croley (1974), Maidment ve Chow (1981) sınıfından baraj işletmesinde kullanılmıştır (Yeh, 1985). Genelde uygulamalar tek barajlı ve tek amaçlı sistemler üzerinde olmuştur. Çünkü Yakowitz (1982) 'e göre deterministik DP yöntemleri ile 10 baraja kadar optimal çözümler elde etmek mümkün olamıyor iken, SDP yöntemleri için iki baraj dahi yeterince büyük bir sistemdir.

Diğer bazı araştırmacılar, stokastik dinamik programlamayı tek barajlı problemlere mükemmel bir şekilde uygulamışlardır, (Stedinger, 1984; Huang ve diğ., 1991;

Vasiliadis ve Karamouz, 1994). Sherkat ve diğ. (1985), tek barajda ardışık olarak sabit bırakım politikalarıyla DPSA' yı stokastik duruma genişletme üzerine çalışmıştır. Ayrıca, California'daki Trinity-Shasta baraj sistemi (Tejada-Guibert ve diğ., 1995) SDP ile yönetilmiştir. Daha sonra, Kelman ve diğ. (1990)'da SDP içerisinde stokastik doğrusal yaklaşımlı senaryolar kullanarak ağ algoritması çözme üzerine bu tekniği uygulamıştır. Ancak, hacimsel problemleri azaltmakta başarısız olmuştur ve kullanılan bu yaklaşım çok barajlı sistemlere halen uygulanamamaktadır.

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

Trezos ve Yeh (1989) çok barajlı problemlerde stokastik durumları gözetecek bir şeklide DDP' yi düzenlemişlerdir. Ancak, Ourda (1991) bütün bu yaklaşımların tam optimal sonuç vermediğini gözlemlemiştir. Ourda (1991) geriye doğru optimal karar kurallarının belirlenmesinde hesaplamasal eksikliklerin olduğunu bulmuştur. El Awar ve diğ. (1998) ile Trezos ve Yeh' (1989)' in stokastik yapılı DDP modelinin algoritmasını ileri seviyede geliştirmiştir.

Turgeon (1980) büyük ölçekli enerji sistemleri için SDP modelini ilavelerle geliştirmiştir. Valdes ve diğ. (1992), SDP tekniğini Venezuela'da aşağı Caroni'de dört barajlı sisteme uygulamıştır.

2.2.1. Dinamik programlamada bilgisayar belleği ve zamanı

Çok barajlı ve çok amaçlı baraj işletmesinde uygulanan dinamik programlama yöntemlerinin kullandığı bilgisayar belleği ve zamanı Chow ve diğ. (1975) tarafından yapılan bir araştırma ile belirlenmiştir. Buna göre, bellek gereksinimi,

$$R = 2.3^m + t.m.3^m \tag{2.3}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Yineleme başına düşen bilgisayar zamanı;

$$T_E = T_a.t.3^{2.m} \tag{2.4}$$

şeklinde olup, burada;

R :Gerekli bellek boyutu (bytes)
T_E :Gerekli bilgisayar zamanı (s)
t :Aşama sayısı
m :Baraj sayısı
T_a :Bilgisayar tipine bağlı bir katsayı

olarak ifade edilmektedir.

Buradan, dinamik programlamada durum değişkenlerinin sayısı arttıkça hesaplama külfetinin üssel olarak arttığı görülmektedir. Bundan dolayı, durum değişkenlerinin sayısının çok olduğu problemler için özel çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden biri de ardışık yaklaştırmalı (successive approximations) veya teker teker ele alma metodu (one at a time method) olarak adlandırılan yaklaşımdır. Bu çalışmada, çözüm tekniği olarak bu yaklaşım kullanılmıştır.

2.2.2. Ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama

Ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama yönteminin amacı, çok karar değişkenli bir dinamik programlama problemini, her birinde tek bir karar değişkeni olan dinamik programlama ait problemlere ayrıştırmak ve böylece karar değişkenlerini teker teker ele alarak ana problemi çözmektir.

İlk olarak bir başlangıç çözümü (işletme politikası) belirlenerek durum ve karar değişkenleri için olurlu olan ilk değerler saptanır. Daha sonra durum değerine ait durum değişkenlerinden bir tanesi seçilerek, diğer durum değerlerindeki durum değişkenlerinin öngörülen aşamadaki değerleri sabit tutulup tek durum değişkenli bir dinamik programlama problemi çözülmektedir. Böylece, bu problemin çözümü, karar değişkenlerinin ve seçilmiş olan durum değişkeninin değerlerini değiştirecek ve başlangıç çözümüne göre amaç fonksiyonunun değerinin arttığı yeni bir çözüm vermektedir. Daha sonra, bir başka durum değişkeni seçilerek yukarıdaki yöntem tekrarlanacaktır. Her durum değeri en az bir kere ele alınmaktadır. Herhangi bir durum değeri ele alındığında çözümlerde seçilen durum ve karar değişkenlerinde bir değişme olmayana kadar bu işlemlere devam edilmekte ve bu şart sağlandığında da durularak diğer durum değerine geçilmektedir. Metodun adı da en iyi çözüme adım adım ve her adımda amaç fonksiyonunun değerinin arttırılarak yaklaşılmasından gelmektedir.

Bu metodun avantajı, (n) boyutlu bir dinamik programlama problemini bir dizi tek boyutlu probleme indirgeyerek, hem hesaplama zamanını hem de bilgisayar bellek gereksinimlerini azaltmaktır. Çok barajlı ve çok amaçlı baraj işletmesinde uygulanan dinamik programlama yöntemlerinin kullanıldığı bilgisayar belleği ve zamanı (n)'ye bağlı olarak üssel (y) doğrusal bir artış göstermektedir. Metodun dezavantajı ise en iyi çözüme yakınsamanın garanti edilememesidir. Bulunan çözüm herhangi bir durağan (stationary) çözüm olabileceği gibi, bazı kötü davranışlı problemlerde böyle bir çözüm dahi olmayabilir. En iyi çözümün bulunabilmesi için başlangıç çözümünün dikkatli seçilmesi ve birden fazla başlangıç çözümü denenerek sonuçların karşılaştırılması gerekebilir.

2.3. Modellemede Kullanılan Araç: MATLAB ile Programlama

Bugün için farklı alanlarda kullanılabilen çok geniş bir ürün yelpazesine sahip MATLAB, teknik hesaplamalarda kullanılan yüksek başarımlı bir programlama dili olarak tanımlanmaktadır. MATLAB hesaplama dili, bilinen matematiksel rakamlar ve işaretlerle ifade edilebilen problemler ve çözümlerini kullanımı kolay bir ortam içinde hesaplama, görüntüleme ve programlama işlemlerini bütünleştirmiştir. MATLAB' ın belli başlı uygulama alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Matematik ve hesaplama işlemleri,
- Algoritma geliştirme,
- Veri Toplama,
- Modelleme, benzetim ve prototipleme,
- Bilimsel ve mühendislik alanında grafik işlemleri,
- Grafiksel kullanıcı arayüz yapısını da içine alan uygulama geliştirme.

MATLAB ismi İngilizce matris laboratuarı (MATrix LABoratory) anlamına karşılık gelen kelimeden türetilmiştir. MATLAB ilk defa LINPACK ve EISPACK tasarıları yoluyla geliştirilen matris yazılımına kolay erişim sağlamak amacı ile yazılmıştır. Bugün, MATLAB motorları LAPACK ve BLAS kütüphanelerini içine alarak matris hesaplamasında adeta yazılımı bir sanat haline getirdiğini iddia eder.

MATLAB temel veri elemanı boyutlandırma gerektirmeyen bir dizim (array) olan etkileşimli bir sistemdir. Bu da özellikle matris ve vektör formüllü pek çok teknik hesaplamanın çözümünü, C ve FORTRAN gibi etkileşimli olmayan dillerde yazılan bir programın çözümünden çok daha kısa olmasını sağlar.

MATLAB ile yapılabilen matematiksel işlemler; doğrusal cebir (linear algebra) veri çözümleme (data analysis), işaret işleme (signal processing), polinom ve ara değer işlemleri (polynomials and interpolation), sayısal integral alma işlemleri (quadrature) ve diferansiyel denklem (ODE) çözümleri şeklinde sıralanabilir. Gerek matematiksel işlemlerin sonuçları ve gerekse dışarıdan aktarılan verilerin 2-boyutlu ve 3-boyutlu grafikleri kolaylıkla sağlanabilir. Bu grafikler ve diğer şekiller üzerinde ise

renklendirme ve ışıklandırma işlemleri yapılabildiği gibi şekil canlandırma (animasyon) işlemleri de yapılabilmektedir. Harici arayüz (MEX-dosyaları) yardımıyla C ve FORTRAN programlama dilleri ile iletişim kurabilmektedir.

MATLAB başlangıçta sayısal hesaplamaları yerine getirmek amacı ile geliştirilmiş olmakla beraber daha sonraki sürümlerinden itibaren geliştirdiği Symbolic Math Toolbox program paketi ilavesi ile sembolik matematiksel işlemleri de yapar hale gelmiştir. Bu paket sembolik hesaplamaları MATLAB' ın sayısal hesaplama ortamına dâhil etmiştir. Symbolic Math Toolbox paketinin temelini oluşturan hesaplama makinesi çeşitli üniversiteler tarafından geliştirilen Maple sisteminin çekirdeğidir.

MATLAB' ın belirleyici niteliklerinden birisi, MATLAB ana paketine ilaveten araç kutuları anlamına gelen toolbox adı verilen uygulamaya özel çözümler sağlayan fonksiyon paketlerinden oluşmasıdır. Araç kutuları veya fonksiyon paketleri MATLAB ortamını özel türden problemlerinin çözümünü sağlamak amacı ile genişleten kapsamlı bir MATLAB fonksiyonları (M-dosyaları) derlemesidir. Araç kutuları; matematik ve analiz, matematiksel modelleme ve benzetim, gerçek zamanda veri toplama ve denetim, işaret ve görüntü işleme, denetim sistemi tasarımı, maliyet modellemesi ve analiz gibi pek çok uygulama alanını kapsamaktadır. Bu ilave fonksiyon paketlerinin bir kısmı ana program yapısında olup bunlar Simulink, Real time Workshop ve Stateflow' dur. Simulink dinamik sistemlerin modellenmesi, benzetimi ve çözümlemesinde kullanılan bir paket yazılım programıdır. Her ne kadar MATLAB ana paketi içinde yer alan diferansiyel denklem çözüm fonksiyonları olan ODE fonksiyonları yardımı ile dinamik sistemlerinin çözümünü elde etmek mümkünse de bunlar Simulink paketinin sağladığı esnekliği sağlayamaz. Simulink' te modelleme, tıkla ve sürükle fare işlemleriyle blok şemaları biçiminde kolaylıkla oluşturulabilir. Simulink'te modeller ise bir grafik kullanıcı arayüzü (GUI) yardımıyla oluşturulur. Bu arayüz yardımıyla model oluşturma bir kağıda matematiksel bağıntılara karşılık gelen işlevsel şekilleri çizmek kadar kolaydır. Simulink' te sinyal giriş elemanı, sinyal çıkış elemanı, doğrusal ve doğrusal olmayan elemanlar ve bağlantı elemanlarından oluşan çok geniş kapsamlı bir blok kütüphanesi mevcuttur. Model oluşturulduktan sonra ise genellikle Simulink

menüsünden seçilen integral alma veya diferansiyel denklem çözüm yöntemleri ile modelin çözümü yapılır.

MATLAB, Real Time Workshop gerçek zaman fonksiyonlar paketi ile gerçek sistemleri uygulamalarına yeni bir boyut katmıştır. Bu paket çeşitli gerçek zaman sistemleri üzerindeki gerçek zaman yazılım uygulamalarının hızlı bir prototipini gerçeklemek amacı ile Simulink ve MATLAB içinde bulunan yeteneklerinin bir uzantısıdır.
MATLAB' ın diğer araç ve bileşenleri ile beraber, Real Time Workshop çeşitli hedef ortamlar için Simulink oluşturulan modellerden otomatik gerçek zaman **C** kodu sağlar. Bu kodlar ile MATLAB ve Simulink' in altında çalışan Real Time Windows Target, xPC Target gibi gerçek zaman yazılım paketleriyle veri toplama ve gerçek zaman denetim algoritması hazırlamakta kolaylıkla kullanılabilmektedir. MATLAB sistemi 5 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. MATLAB programlama dili
2. Geliştirme ortamı
3. Grafik işlemleri
4. MATLAB matematiksel fonksiyon kütüphanesi
5. MATLAB uygulama programı arabirimi (API)

2.3.1.MATLAB programlama dili

Bu, şartlı deyimler, fonksiyonlar, veri yapıları, giriş/çıkış ve nesneye yönelik programlama özellikleri içeren yüksek seviyeli bir matris/dizim dilidir. Bir taraftan hızlı bir şekilde oluşturulabilen küçük çaplı basit programlamalara uygun düşerken diğer taraftan geniş çaplı ve karmaşık uygulama programlamalarına da uygundur.

2.3.2.Geliştirme ortamı

Bu, MATLAB fonksiyonları ve dosyalarının kullanılmasında yardımcı olan araç ve gereçler takımından oluşur. Bu ortam; MATLAB masaüstü ve komut penceresi,

komut tarihsel günlüğü, yazı düzenleyicisi/yanlış ayıklayıcısı ve ayrıca yardım, çalışma ortamı, dosyalar ve arama yolu için gerekli tarayıcılardan oluşur.

2.3.3.Grafik işlemleri

MATLAB, grafiklere açıklayıcı notlar koyma ve grafikleri bir yazıcıda basabilmenin yanında, vektörleri ve matrisleri grafik olarak görüntülemek amacı ile çok kapsamlı kolaylıklar sağlar. Grafik araçları iki-boyutlu ve üç-boyutlu veri görüntülemesi, görüntü işleme, canlandırma ve grafikleri temsil etmekte kullanılan yüksek seviye fonksiyonlarını kapsar. Ayrıca, MATLAB uygulamalarında tam bir grafiksel kullanıcı arayüzü yapılandırmak kadar grafiklerin görünüşünü tamamen ısmarlama yapılmış hale sokulmasına olanak sağlayan düşük seviye fonksiyonları da yer almaktadır.

2.3.4.MATLAB matematiksel fonksiyon kütüphanesi

Bu kütüphane, sum, sine, cosine gibi elemansal fonksiyonlardan ve karmaşık aritmetikten, matrisin tersi, matris öz değerleri, Bessel fonksiyonları ve hızlı Fourier dönüşümlerine kadar değişen geniş bir hesaplama algoritmaları derlemesinden oluşur.

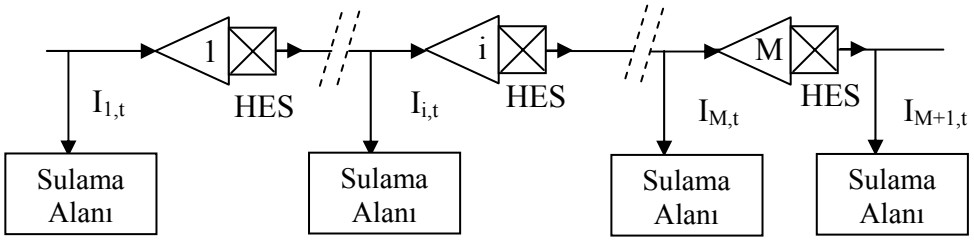
2.3.5.MATLAB uygulama programı arabirimi

MATLAB ile etkileşimli çalışan C ve FORTRAN programları yazılmasına olanak tanıyan bir kütüphanedir. MATLAB' dan rutinleri çağırma (dinamik ilişki), MATLAB' ı bir hesaplama motoru gibi kullanma ve MAT-dosyalarını (veri dosyaları) yazma ve okuma için gerekli gereçlerden oluşur.

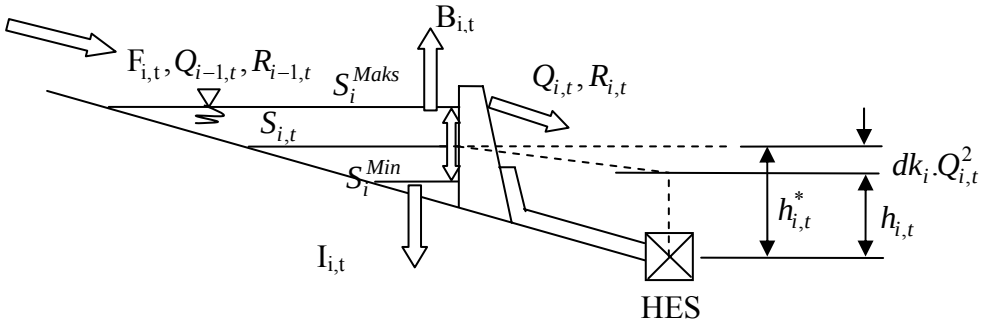
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

3.1. Sistemin Tanımlanması

Bir akarsu üzerindeki çok sayıda baraj ve hidroelektrik santral (HES) çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi olarak tanımlanabilir. Şekil 3.1' de, çok barajlı bir su kaynakları sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistem içinde bulunan herhangi bir i-barajının t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri Şekil 3.2' de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1: Birbirine seri bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü



Şekil 3.2: Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri

Bir baraj haznesi için su dengesi ilişkisi,

$$\frac{dS}{dt} = X - Y \tag{3.1}$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

X :Hazneye giren akımları,

Y :Hazneden çıkan akımları,

$\frac{dS}{dt}$: haznede depolanan su miktarı

olarak tanımlanmıştır. Sisteme ait i-barajı için t-zamandaki su dengesi ilişkisi, (i=l,2…M: baraj sayısı, t=1,2…KM: Dönem sayısı), ayrık zaman dilimi için,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \tag{3.2}$$

ile gösterildiğinde, buradan,

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = X_{i,t} - Y_{i,t} \tag{3.3}$$

olarak yazılabilir. Buradan,

$$X_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} \tag{3.4}$$

$$\mathrm{Y_{i,t}} = \mathrm{Q_{i,t}} + \mathrm{R_{i,t}} + \mathrm{B_{i,t}} - \mathrm{Su_{i,t}} \tag{3.5}$$

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

$I_{i,t}$: i-barajından t-zamanda parametrik olarak çekilen sulama suyu miktarı

olarak tanımlanabilir. Eğer $\Delta t = 1$ birim (ay veya saat) olarak alındığında, su dengesi ilişkisi,

$$\Delta S_i = S_{i,,t+1} - S_{i,t} \tag{3.6}$$

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - B_{i,t} - I_{i,t} \tag{3.7}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Çok amaçlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminde her bir baraj için depolanan su miktarları, baraj maksimum ve minimum hacimleri ile sınırlanmış olmaktadır. Buna göre her bir barajda depolanmış su miktarı

$$S_i^{Min} \le S_{i,t} \le S_i^{Maks} \tag{3.8}$$

arasında olmakta ve,

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

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

göstermektedir. Barajdan bırakılacak akımlar enerji üretim kapasitesine ve dolu savak kapasitesine bağlı olarak sınırlanabilir. Buna göre, barajdan bırakılan akımlar

$$0 \le Q_{i,t} \le Q_i^{Maks} \tag{3.9}$$

$$0 \le R_{i,t} \le R_i^{Maks} \tag{3.10}$$

$$I_{i,t}^{Min} \le I_{i,t} \le I_{i,t}^{Maks} \tag{3.11}$$

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

$I_{i,t}^{Min}$: i-barajından çekilecek minimum sulama suyu miktarını

$I_{i,t}^{Maks}$: i-barajından çekilecek maksimum sulama suyu miktarını

göstermektedir.

Diğer taraftan, barajlardan bırakılan akımların toplamına alt ve üst sınırlar tanımlanabilir. O zaman,

$$W_{i,t} \le (Q_{i,t} + R_{i,t}) \le W_i^{Maks} \tag{3.12}$$

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 bırakılan akımdan elde edilen gücün hidroelektrik santral kurulu gücünü aşmaması gerekmektedir. Yani, t-zamanda i-barajında elde edilen ortalama güç

$$P_{i,t} = k_i.Q_{i,t}.h_{i,t} \tag{3.13}$$

olup,

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

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

Barajlardaki ortalama su yüksekliği,

$$h^*_{i,t} = h\left(\frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2}\right) \tag{3.14}$$

şeklinde (ortalama depolanmış su miktarının bir fonksiyonu olarak) elde edilmektedir. Cebri boru veya taşıma tünelindeki sürtünme kayıpları dikkate alındığında,

$$h_{i,t} = h^*_{i,t} - (h_f)_{i,t} \tag{3.15}$$

olmakta ve buradan

$$h_{i,t} = h^*_{i,t} - dk_i.Q^2_{i,t}.l_i \tag{3.16}$$

yazılmaktadır. Burada,

$h^{*}_{i,t}$: Tüneldeki sürtünme kaybı düşünülmeden önce i-barajında t-zamandaki ortalama su yüksekliği

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

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

l_i : i-barajında taşıma tüneli uzunluğu

olarak tanımlanmaktadır. Burada, barajdaki $h_{i,t}$ yüksekliğine karşılık gelen depolama yüzey alanı belirlenip, bu değer t-zamandaki buharlaşma yüksekliği ile çarpılarak buharlaşma miktarı belirlenmektedir.

3.2. 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 yaklaştırmalı dinamik programlama (DPSA) modeli ile aylık kurak dönem akımları kullanılarak güvenilir gücü enbüyükleyecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) belirlenmektedir. Buradan elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılıp, sulama suyu parametrik olarak değiştirilerek 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,

$$Max.(\min.\sum_{i=1}^{M} P_{i,t}) \tag{3.17}$$

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

2. Aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin enbüyüklenmesi, (P_G =sabit),

$$Max.\sum_{t=1}^{KM}\left[(\sum_{i=1}^{M} P_{i,t} - P_G).p_s + P_G.p_G \right], \text{(KM=12 ay)} \quad (3.18)$$

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

$$\sum_{i=1}^{M} P_{i,t} \geq P_G \quad (3.19)$$

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. Burada kullanılan enerji birim fiyatlarının sonuç üzerinde bir etkisi olmamakla birlikte, sadece toplam enerji faydasının değerini belirlemek için kullanılmaktadır.

Yapısal denklemler olarak her bir baraj ve dönem için su dengesi ilişkisi, Denklem 3.5' te ifade edilmektedir.

Sistemdeki kısıtlar ise, sisteme ait her bir barajdaki işletme seviyesinin değişimi, Denklem 3.6 ile gösterilmektedir. Barajdan bırakılacak akım miktarları, enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılan akımlar, sırasıyla, Denklem 3.7 ve 3.8' de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

3.3 Parametrik Değişken Yaklaşımı

Çok barajlı ve çok amaçlı su kaynakları sistemlerinde, aynı zaman ve yapı içerisine yerleştirilen yapısal denklemler ile sisteme tanımlanan kısıtların birlikte kullanılması, sistemin birçok amaca hizmet etmesini kolaylaştırmaktadır. Bu doğrultuda yapılan optimizasyon çalışmalarında, enerji faydası ile birlikte sulama-içme suyu faydasının enbüyüklenmesi, enerji faydası enbüyüklenirken taşkın zararının enküçüklenmesi yada enerji ve sulama faydası enbüyüklenirken, taşkın zararının enküçüklenmesi gibi kriterler amaçlanabilir.

Parametrik değişkenin optimizasyon yapısındaki işleyişi,

i. Parametrik değişkenin alt ve üst sınırları belirlenir

ii. Bu sınırlar arasında bir değer atanır.

iii. Optimizasyon yapısı içerisinde kullanılan bu değerin, optimizasyon çalışmalarında sisteme getireceği fayda belirlenir.

iv. Parametrik değişken değerine karşılık olarak amaç fonksiyonunun ürettiği yeni değerin belirlenmesi.

v. Optimizasyon öncesinde bilinen parametrik değişken faydası ile amaç fonksiyonun ürettiği yeni fayda değeri arasında bir ilişki ortaya çıkartılması.

şeklindedir.

Burada sistem sırası verilen parametrik değişkenin, parametrik optimizasyon yaklaşımı içerisinde kullanımı sırasıyla her bir yeni değişken için tekrarlanarak devam ettirilmelidir. Bu yineleme safhası sistemin parametrik değişken sınırları belirlenmesinden sonraki aşamada gerçekleştirilmelidir.(Örneğin : Sistemden parametrik olarak sırasıyla 30-60-90.10^6 m^3 su çekilmesi gibi.)

Tek amaç fonksiyonu olan optimizasyon yapısı içerisinde yapısal denklemlerin içerisine istenilen amaçlar doğrultusunda gerektiği kadar parametrik değişken kullanılabilir. Çok barajlı sistemlerde parametrik değişken olarak aşağıda verilen değişkenler kullanılabilir.

- Enerji üretimi: Kurak Dönemlerde farklı sulama değerlerine karşılık güvenilir güç parametrik olarak değişebilir.

- Sulama suyu : Minimum ve maksimum sulama miktarları arasında sulama suyu parametrik olarak değiştirilebilir. Bu çalışmada sulama suyu miktarı parametrik değişken olarak kullanılmıştır.

- İçme suyu: İçme suyu verilecek bölge için, o bölgenin ihtiyacı doğrultusunda minimum ve maksimum sınırlar belirlenir. Belirlenen sınırlar arasında içme suyu miktarları parametrik olarak değiştirilebilir

- Taşkın-Kuraklık Kontrolü: Taşkın için mansapta maksimum bırakım miktarına kadar, kuraklık için ise mansapta minimum ile maksimum bırakım miktarına kadar değerler atanarak taşkın ve kuraklık kontrolü parametrik olarak değiştirilebilir.

- Kirlilik Kontrolü ve Ulaşım: Kirlilik kontrolü ve ulaşım, mansapta minimum ve maksimum bırakım miktarı arasında değerler atanarak parametrik değişken olarak kullanılabilirler.

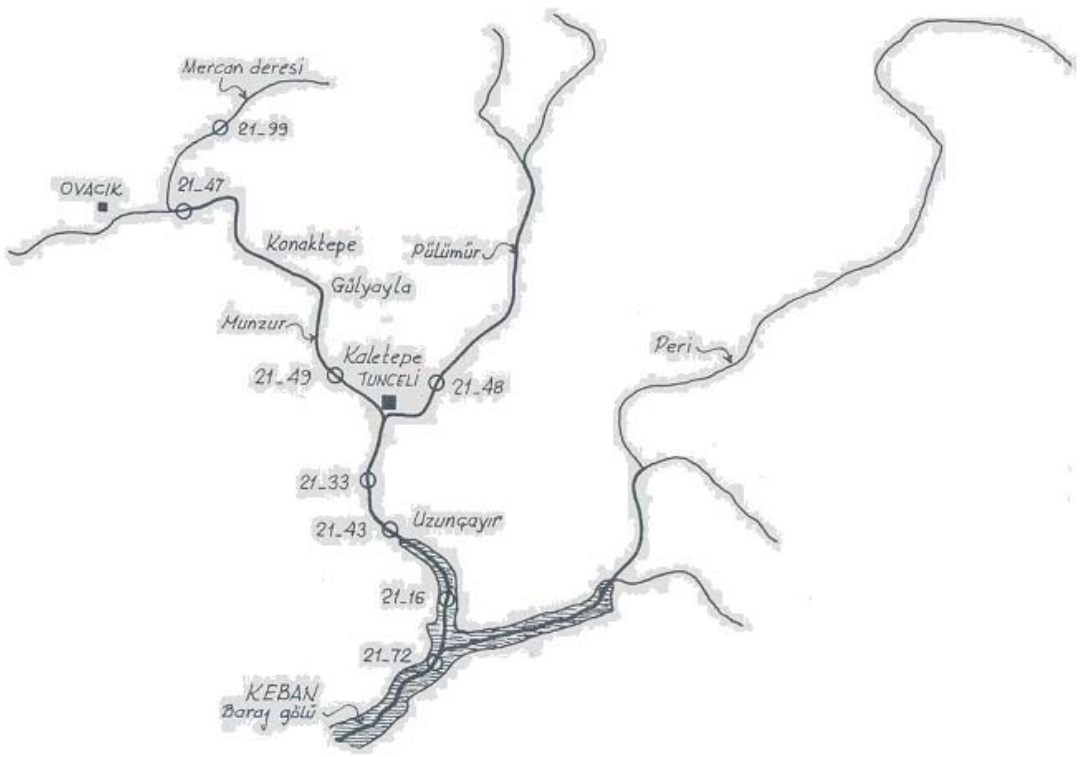
4. MUNZUR AKARSU HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ

4.1. Giriş

Ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Munzur Akarsuyu Havzası, kuzeyde Toros dağlarının devamı olan Munzur ve Mercan dağları, doğuda Bingöl Dağları, Batıda Erzincan ili ve güneyde ise Keban Baraj Gölü ve Elazığ ili arasında bulunmaktadır.

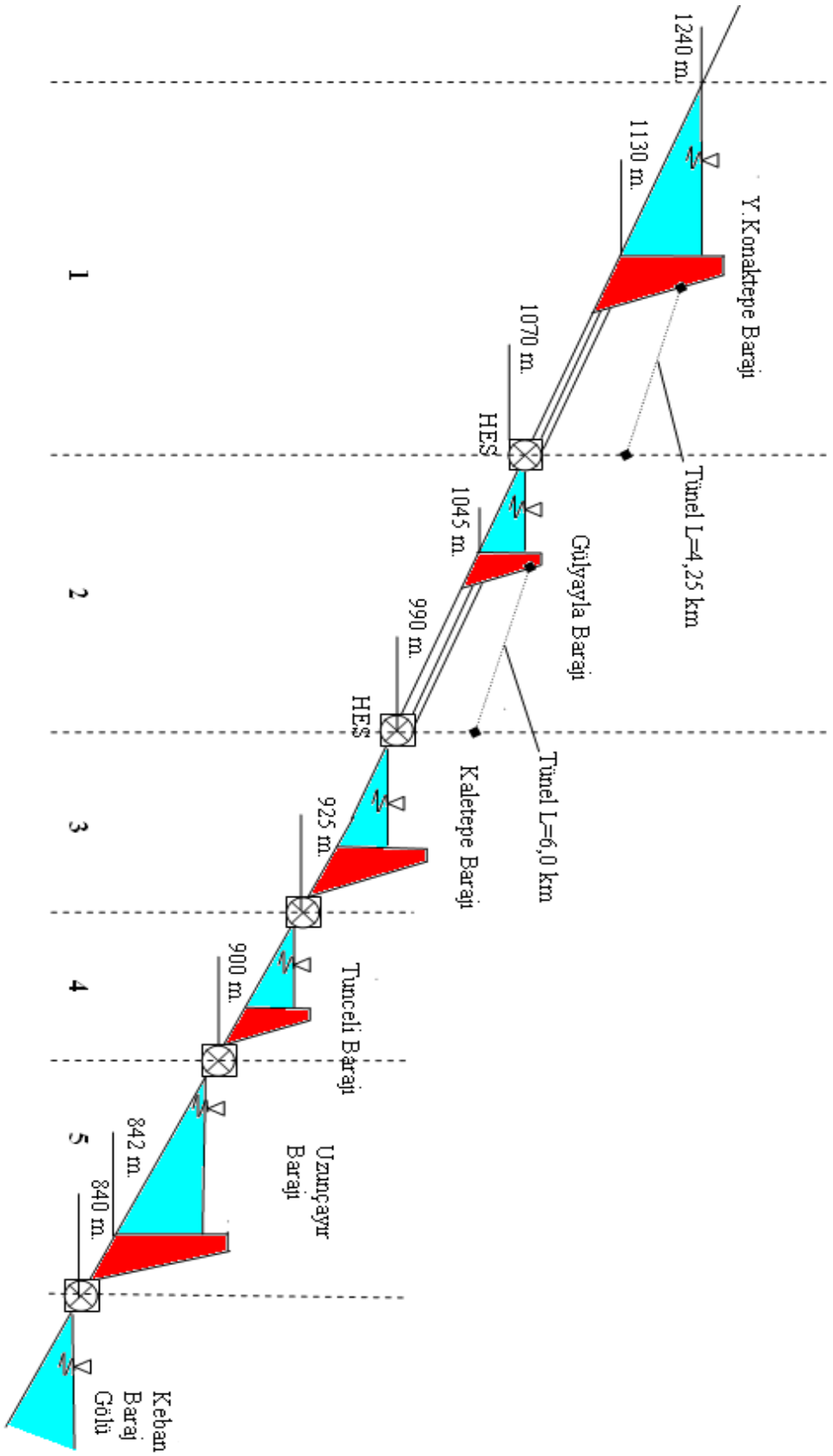
Munzur Akarsu Havzası'na gelen yıllık yağış miktarı 550-1080 mm arasında değişmekte olup, karasal iklim sürmektedir. En az yağış yaz aylarında en çok yağış ise sonbahar ve kış aylarında düşmektedir. Yaz aylarında kuzey-batıdan esen kuvvetli rüzgarlarla iklim kurak geçmektedir. Kış aylarında ise rüzgar genellikle güney-batı tarafından hafif esmektedir. Kış ayları soğuk ve yağışlı, yaz ayları ise sıcak ve kurak geçer. En yüksek ısı derecesi +40 derece, en düşük ısı derecesi ise -23 derecedir. Yıllık ortalama nem %63 dür.

Munzur akarsuyu, membasında, Ovacık ve Yeşilyazı ovalarının suları toplamaktadır. Bu ovalar, Muzur dağlarının üzerindeki Ziyaret Tepe üzerinden inen birçok akarsu ve yüzey sularıyla beslenmektedir. Bu ovalardan gelen suları toplayan Munzur akarsuyuna, Avcı dağlarının eteklerinden doğan Mercan Deresi ile Pülümür Çayı da dahil olmaktadır. Bölgede toplanan su Uzunçayır Barajından sonra Peri suyu ile birleşir ve Keban Baraj Gölüne dökülür. Munzur Akarsu Havzası'nın görünüşü, ana ve tali kolları, bu kollar üzerinde bulunan barajlar, akım gözlem istasyonlarının bulunduğu yerler, Şekil 4.1' de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Munzur Akarsu Havzası'nın şematik görünüşü

Munzur Akarsuyu ana kolu ve tali kolları üzerinde birçok baraj bulunmaktadır. Ana kolu üzerinde birbirine seri olarak bağlı bulunan barajlar, sırasıyla, Y. Konaktepe, Gülyayla, Kaletepe, Tunceli ve Uzunçayır barajlarıdır. Bu barajlar enerji amaçlı olarak planlanmışlardır. Bu barajlardan Gülyayla ve Tunceli Barajları biriktirmesiz, diğer barajlar ise biriktirmelidir. Şekil 4.2'de, Munzur Akarsu Havzası'nda Munzur Akarsuyu ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü gösterilmektedir. Barajlara ait veriler, Tablo 4.1' de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2: Munzur Akarsu Havzası'nda Munzur Akarsuyu ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü

Tablo 4.1: Munzur Akarsu Havzası' nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağlı bulunan barajlara ait veriler [Sert, 1982]

Barajlar	**Y.Konaktepe**	**Gülyayla**	**Kaletepe**	**Tunceli**	**Uzunçayır**
Yağış Alanı (km^2)	1086	1151	1586	1630	3335
Amaç	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji
Kurulu Güç (MW)	105	50	53	21	117
Baraj Yüksekliği (m)	110	25	65	25	58
Maksimum işletme seviyesi (m)	1240	1070	990	925	900
Minimum işletme seviyesi (m)	1170	1070	960.3	925	873.8
Maksimum Hacim (10^6 m^3)	456	6	47.5	5	303
Minimum Hacim (10^6 m^3)	20	6	10	5	40
Kuyruksuyu kotu (m)	1070	990	925	900	840
Enerji Üretimi Kapasitesi (m^3/s)	77,2	78,125	101,92	105	243,75
Aylık Maksimum Akım(m^3/s)	463,93	17,33	232,10	8,90	506,19
Aylık Minimum Akım(m^3/s)	29,28	1,09	0	0,51	17,70
Aylık Ortalama Akım(m^3/s)	107,86	4,03	18,63	1,85	98,59



Şekil 4.3: Uzunçayır Barajı'nın görüntüsü

4.2. Buharlaşma Değerleri

Munzur Akarsu Havzası'nda, Muzur Akarsuyu üzerinde bulunan sistemin incelenmesinde, aylık dönemlerde barajlarda oluşacak buharlaşma kayıpları sisteme ait barajların işletilmesi esnasında göz önüne alınmaktadır. Munzur Akarsu Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) olarak Tablo 4.2, 3 ve 4' de verildiği gibidir. Bu değerler TÜBİTAK Yöneylem Araştırması Bölümü tarafından hazırlanan Munzur suyu Projesi uygulaması Raporu'ndan alınmıştır.[1982]

Herhangi bir baraja ait buharlaşma değeri, işletme esnasında barajın işletme seviyesini doğrudan etkilemektedir. Burada, herhangi bir barajda gölet yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma miktarı dönem sonuna ait işletme seviyesinden düşülmesi öngörüldüğü için uzun süreli işletme modeline göre yazılan bilgisayar programında su dengesi ilişkisi içerisine konulmamıştır.

Tablo 4.2: Munzur Akarsu Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında Y.Konaktepe Barajında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Sert, 1982]

Aylara Göre Buharlaşma Hacimleri (10^6 m^3)							
Kot	**Yükseklik (m)**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**
1130	0	0	0	0	0	0	0
1140	10	0,008	0,014	0,017	0,016	0,009	0,002
1150	20	0,043	0,072	0,086	0,080	0,046	0,009
1160	30	0,090	0,149	0,177	0,164	0,094	0,018
1170	40	0,152	0,250	0,297	0,276	0,158	0,031
1180	50	0,219	0,361	0,429	0,398	0,228	0,045
1190	60	0,304	0,500	0,594	0,551	0,316	0,062
1200	70	0,450	0,741	0,880	0,817	0,468	0,092
1210	80	0,671	1,106	1,313	1,219	0,698	0,137
1220	90	0,919	1,515	1,799	1,670	0,956	0,187
1230	100	1,229	2,025	2,405	2,233	1,278	0,250
1240	110	1,670	2,752	3,268	3,034	1,737	0,340
Net Buharlaşma bit (mm/ay)		107,92	177,85	211,16	196,04	242.7	21,98

Tablo 4.3: Munzur Akarsu Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında Kaletepe Barajında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Sert, 1982]

Aylara Göre Buharlaşma Hacimleri (10^6 m^3)							
Kot	**Yükseklik (m)**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**
925	0	0	0	0	0	0	0
930	5	0,007	0,012	0,015	0,014	0,008	0,002
940	15	0,023	0,039	0,046	0,043	0,024	0,005
950	25	0,043	0,071	0,084	0,078	0,045	0,009
960	35	0,068	0,113	0,134	0,124	0,071	0,014
970	45	0,101	0,167	0,198	0,184	0,105	0,021
980	55	0,156	0,263	0,313	0,290	0,166	0,033
990	65	0,222	0,366	0,435	0,403	0,231	0,045
Net Buharlaşma bit (mm/ay)		107,92	177,85	211,16	196,04	242.7	21,98

Tablo 4.4: Munzur Akarsu Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında Uzunçayır Barajında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Sert, 1982]

Aylara Göre Buharlaşma Hacimleri (10^6 m^3)							
Kot	**Yükseklik (m)**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Ekim**
842	0	0	0	0	0	0	0
850	8	0,002	0,009	0,012	0,012	0,008	0
860	18	0,028	0,117	0,158	0,158	0,097	0,006
870	28	0,152	0,629	0,853	0,851	0,520	0,030
880	38	0,311	1,287	1,745	1,741	0,065	0,061
890	48	0,465	1,922	2,605	2,600	1,590	0,092
900	58	0,595	2,458	3,331	3,325	2,033	0,117
Net Buharlaşma bit (mm/ay)		41,49	171,50	232,45	231,98	141,86	8,18

Birim alandan aylık net buharlaşma kaybı

Net Buharlaşma = 0,70 (Ortalama Buharlaşma) – Ortalama Yağış

Olarak tanımlanmakta ve mm/ay birimi olarak ifade edilmektedir.

Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 'te, Y.Konaktepe, Kaletepe ve Uzunçayır barajları için net buharlaşma (b_{it}) ve değişen yüksekliklerdeki aylık buharlaşma hacimleri verilmektedir. Bu barajlar biriktirmeli barajlardır. Gülyayla ve Tunceli barajları

biriktirmesiz olduğundan bu barajların buharlaşma hacimleri hesaplanmamıştır. Bu barajlarda da diğer üç barajın verileri göz önüne alınarak değerlendirme yapılacaktır.

4.3. Hacim-Alan-Yükseklik İlişkileri

Enerji üretimi ve sulama miktarı barajdaki su yüksekliğine ve türbinden çıkan akıma bağlı olarak elde edilmektedir. Bu nedenle, barajda işletme seviyesine gelen su yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Buradan, Munzur Akarsu Havzası'nda, Munzur Akarsuyu'nun ana kolu üzerinde bulunan çok barajlı su kaynakları sisteminde barajlara ait hacim (depolanmış su miktarı), alan ve yükseklikler Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de verilmiştir. Bu verilerle elde edilen yükseklik-hacim eğrileri için $h=a.V^n$ şeklinde tanımlanan denklemlerin regresyon analizi yapılarak a ve n katsayıları ile R^2 regresyon katsayısının değerleri belirlenip, Tablo 4,8'de gösterilmiştir.

Hacim yükseklik denkleminde hacmin yüksekliğe göre türevi alındığında, alan yükseklik denklemi elde edilmektedir. Bu denklemler, $A=b.h^m$ halini almaktadır. B ve m katsayılarının değerleri her bir baraj için Tablo 4.9' de gösterilmektedir.

Tablo 4.5: Y.Konaktepe Barajı yükseklik hacim ilişkileri

Kot (m)	**Yükseklik (m)**	**Hacim (10^6) m^3**	**Alan (10^6) m^2**
1130	0	0	0
1140	10	0,325	0,081
1150	20	2,761	0,406
1160	30	8,979	0,838
1170	40	20,198	1,406
1180	50	37,385	2,031
1190	60	61,604	2,813
1200	70	96,510	4,189
1210	80	148,448	6,219
1220	90	222,135	8,519
1230	100	321,666	11,388
1240	110	455,979	15,475

Tablo 4.6: Kaletepe Barajı yükseklik hacim ilişkileri

Kot (m)	**Yükseklik (m)**	**Hacim (10^6) m^3**	**Alan (10^6) m^2**
925	0	0	0
930	5	0,172	0,069
940	15	1,601	0,217
950	25	4,681	0,399
960	35	9,843	0,634
970	45	17,698	0,938
980	55	29,788	1,481
990	65	47,478	2,058

Tablo 4.7: Uzunçayır Barajı yükseklik hacim ilişkileri

Kot (m)	**Yükseklik (m)**	**Hacim (10^6) m^3**	**Alan (10^6) m^2**
842	0	0	0
850	8	0,125	0,050
855	13	1,920	0,300
860	18	3,781	0,681
865	23	12,240	2,050
870	28	25,531	3,669
875	33	45,600	5,550
880	38	81,406	7,506
885	43	122,400	9,350
890	48	174,969	11,206
895	53	234,600	12,775
900	58	302,656	14,331

Tablo 4.8: Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde yükseklik hacim ilişkisi parametreleri ($h=a.V^n$, h (m), V (10^7 m^3))

Barajlar	**a**	**n**	**R^2**
Y:Konaktepe	17,624	0.3005	0.9997
Gülyayla	17,624	0.3005	0.9997
Kaletepe	13,44	0.4134	0.9997
Tunceli	13,44	0.4134	0.9997
Uzunçayır	11.11	0.285	0.9998

Tablo 4.9: Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde alan yükseklik ilişkisi parametreleri ($A=b.h^m$, A (10^6 m^2), h (m))

Barajlar	**b**	**m**
Y:Konaktepe	41,7445	0,3564
Gülyayla	41,7445	0,3564
Kaletepe	44,2384	0,5739
Tunceli	44,2384	0,5739
Uzunçayır	15,4341	0,4723

4.4. Barajlara gelen akımlar

1964'den 1978 tarihine kadar olan akım gözlem değerleri baraj akslarına taşınmış değerler olarak m^3/s boyutunda düzenlenmiştir. Y.Konaktepe, Gülyayla, Kaletepe, Tunceli ve Uzunçayır barajlarının aksına taşınmış akım gözlem değerleri, sırasıyla, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12, Tablo 4.13 ve Tablo 4.14' de gösterilmektedir. Bu taşıma işlemi sırasında gözlem istasyonlarıyla baraj aksı arasında;

$q_{konaktepe} = 1{,}205 \cdot q_{2147}$

$q_{gülyayla} = 1{,}250 \cdot q_{2147}$

$q_{kaletepe} = 0{,}986 \cdot q_{2149}$

$q_{tunceli} = q_{2149}$

$q_{uzunçayır} = 1{,}205 \cdot q_{2147}$

bağıntıları kullanılmıştır.

Bu akım gözlem değerleri kullanılarak 1964-1978 yıllarına göre aylık ortalama akımlar elde edilmiştir. Her bir barajdaki aylık ortalama akım değerleri, Tablo 4.15' de ve Şekil 4.4' te gösterilmektedir.

Tablo 4.10: Y.Konaktepe Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1964	60.97	69.77	60.61	50.49	41.21	78.45	185.57	151.83	138.58	84.95	63.87	46.51
1965	42.30	38.56	37.60	33.50	29.28	65.55	214.49	226.54	180.75	124.12	81.46	54.47
1966	51.21	48.08	51.57	67.72	67.12	130.14	319.33	279.56	222.93	154.24	122.91	88.45
1967	67.36	76.40	73.87	63.38	51.09	59.17	183.16	368.73	194.01	166.29	117.73	88.45
1968	84.59	97.12	82.30	72.30	62.42	80.98	380.78	395.24	232.57	165.09	115.08	81.10
1969	70.73	94.95	73.38	64.11	53.14	93.51	308.48	463.93	262.69	172.32	126.53	91.94
1970	77.00	62.66	59.65	51.57	47.12	81.34	288.00	215.70	167.50	115.44	76.64	55.79
1971	51.45	55.07	54.71	43.50	35.91	113.15	208.47	207.26	167.50	126.53	92.79	65.07
1972	54.10	45.79	45.55	39.64	35.19	53.38	161.47	161.47	153.04	96.88	67.60	50.61
1973	50.01	47.48	42.05	37.48	33.86	52.66	114.11	117.49	95.68	68.44	49.41	40.01
1974	41.33	46.75	40.97	38.44	33.74	115.08	180.75	212.08	134.96	98.69	69.05	52.66
1975	49.77	46.97	48.67	42.83	36.17	71.46	234.31	191.93	151.32	120.42	83.82	62.50
1976	51.19	46.89	41.34	41.77	34.81	39.96	213.77	323.07	194.15	127.51	91.40	65.49
1977	92.66	79.77	74.83	59.65	58.32	119.66	203.65	221.72	172.32	131.35	95.44	65.31
1978	58.56	52.66	47.96	46.15	40.61	75.07	233.77	272.33	184.37	147.01	102.30	70.85
Toplam 15 yıllık ortalama	60.22	60.59	55.67	50.17	44.00	81.97	228.67	253.92	176.82	126.62	90.40	65.28

Tablo 4.11: Gülyayla Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1964	63.25	72.38	62.88	52.38	42.75	81.38	192.50	157.50	143.75	88.13	66.25	48.25
1965	43.88	40.00	39.00	34.75	30.38	68.00	222.50	235.00	187.50	128.75	84.50	56.50
1966	53.13	49.88	53.50	70.25	69.63	135.00	331.25	290.00	231.25	160.00	127.50	91.75
1967	69.88	79.25	76.63	65.75	53.00	61.38	190.00	382.50	201.25	172.50	122.13	91.75
1968	87.75	100.75	85.38	75.00	64.75	84.00	395.00	410.00	241.25	171.25	119.38	84.13
1969	73.38	98.50	76.13	66.50	55.13	97.00	320.00	481.25	272.50	178.75	131.25	95.38
1970	79.88	65.00	61.88	53.50	48.88	84.38	298.75	223.75	173.75	119.75	79.50	57.88
1971	53.38	57.13	56.75	45.13	37.25	117.38	216.25	215.00	173.75	131.25	96.25	67.50
1972	56.13	47.50	47.25	41.13	36.50	55.38	167.50	167.50	158.75	100.50	70.13	52.50
1973	51.88	49.25	43.63	38.88	35.13	54.63	118.38	121.88	99.25	71.00	51.25	41.50
1974	42.88	48.50	42.50	39.88	35.00	119.38	187.50	220.00	140.00	102.38	71.63	54.63
1975	51.63	48.73	50.49	44.43	37.53	74.13	243.06	199.10	156.98	124.91	86.95	64.84
1976	53.10	48.64	42.89	43.33	36.11	41.45	221.75	335.14	201.40	132.28	94.81	67.94
1977	96.13	82.75	77.63	61.88	60.50	124.13	211.25	230.00	178.75	136.25	99.00	67.75
1978	60.75	54.63	49.75	47.88	42.13	77.88	242.50	282.50	191.25	152.50	106.13	73.50
Toplam 15 yıllık ortalama	62.47	62.86	57.75	52.04	45.64	85.03	237.21	263.41	183.43	131.35	93.78	67.72

Tablo 4.12: Kaletepe aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1964	90.61	75.23	69.41	55.61	46.05	122.26	224.81	174.52	141.00	92.78	64.78	48.71
1965	44.37	47.03	46.24	40.82	35.59	111.42	295.80	283.97	176.49	116.35	81.05	58.37
1966	57.58	55.61	65.96	103.53	88.15	175.51	458.49	359.89	244.53	156.77	120.29	89.04
1967	70.20	79.77	93.87	77.20	57.48	89.82	293.83	452.57	221.85	169.59	120.29	90.51
1968	90.91	117.33	106.49	84.30	72.77	141.00	627.10	432.85	226.78	161.70	118.32	87.95
1969	76.51	123.25	99.59	85.49	66.26	179.45	449.62	614.28	263.26	182.41	144.94	101.56
1970	78.39	65.67	67.44	58.86	62.71	131.14	370.74	230.72	152.83	112.40	80.26	58.67
1971	54.62	61.33	71.58	49.30	41.41	141.00	271.15	235.65	163.68	118.32	89.43	63.20
1972	56.79	51.17	51.37	42.99	39.74	69.91	204.10	223.82	166.63	101.56	73.06	58.08
1973	57.58	53.64	45.26	38.45	39.14	67.84	142.97	134.10	96.04	67.25	46.44	36.48
1974	39.44	49.69	44.67	40.82	37.57	170.58	236.64	256.36	152.83	100.57	72.47	56.99
1975	50.92	48.56	55.94	47.83	40.29	102.49	324.32	258.12	159.35	115.27	82.72	61.82
1976	52.93	54.28	45.74	44.00	36.30	61.11	367.51	505.73	242.26	138.59	87.12	71.33
1977	92.59	74.44	82.23	65.47	75.53	159.73	261.29	315.52	185.37	137.05	97.42	68.53
1978	62.32	49.69	52.95	52.16	61.63	141.98	370.74	376.65	211.00	141.00	96.14	74.34
Toplam 15 yıllık ortalama	65.05	67.11	66.58	59.12	53.37	124.35	326.61	323.65	186.93	127.44	91.65	68.37

Tablo 4.13: Tunceli Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)

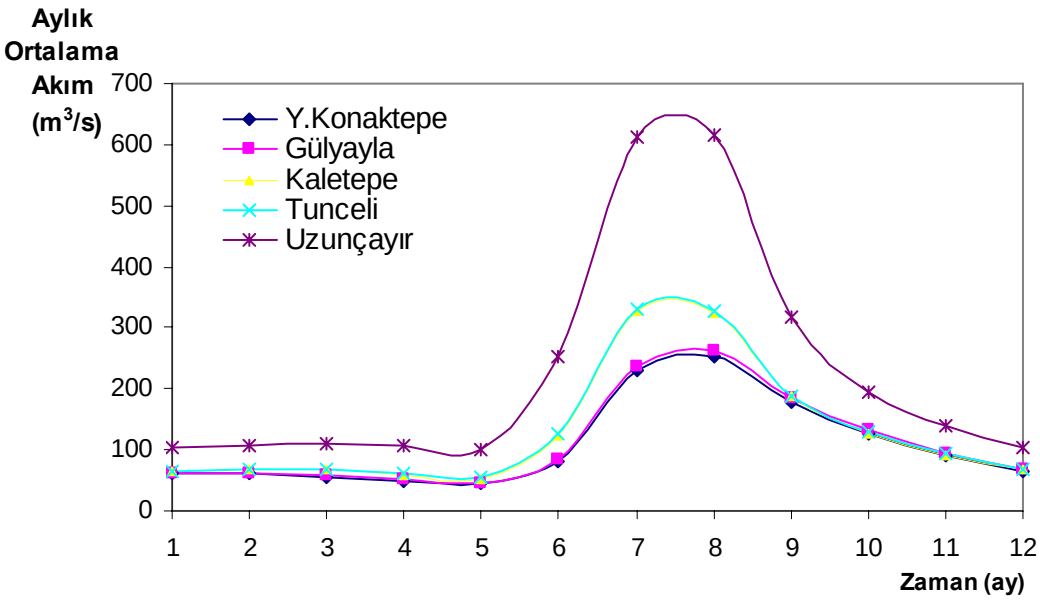
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1964	91.90	76.30	70.40	56.40	46.70	124.00	228.00	177.00	143.00	94.10	65.70	49.40
1965	45.00	47.70	46.90	41.40	36.10	113.00	300.00	288.00	179.00	118.00	82.20	59.20
1966	58.40	56.40	66.90	105.00	89.40	178.00	465.00	365.00	248.00	159.00	122.00	90.30
1967	71.20	80.90	95.20	78.30	58.30	91.10	298.00	459.00	225.00	172.00	122.00	91.80
1968	92.20	119.00	108.00	85.50	73.80	143.00	636.00	439.00	230.00	164.00	120.00	89.20
1969	77.60	125.00	101.00	86.70	67.20	182.00	456.00	623.00	267.00	185.00	147.00	103.00
1970	79.50	66.60	68.40	59.70	63.60	133.00	376.00	234.00	155.00	114.00	81.40	59.50
1971	55.40	62.20	72.60	50.00	42.00	143.00	275.00	239.00	166.00	120.00	90.70	64.10
1972	57.60	51.90	52.10	43.60	40.30	70.90	207.00	227.00	169.00	103.00	74.10	58.90
1973	58.40	54.40	45.90	39.00	39.70	68.80	145.00	136.00	97.40	68.20	47.10	37.00
1974	40.00	50.40	45.30	41.40	38.10	173.00	240.00	260.00	155.00	102.00	73.50	57.80
1975	51.64	49.25	56.73	48.51	40.86	103.95	328.92	261.79	161.61	116.91	83.89	62.70
1976	53.68	55.05	46.39	44.62	36.82	61.98	372.73	512.91	245.70	140.56	88.36	72.34
1977	93.90	75.50	83.40	66.40	76.60	162.00	265.00	320.00	188.00	139.00	98.80	69.50
1978	63.20	50.40	53.70	52.90	62.50	144.00	376.00	382.00	214.00	143.00	97.50	75.40
Toplam 15 yıllık ortalama	65.97	68.07	67.53	59.96	54.13	126.12	331.24	328.25	189.58	129.25	92.95	69.34

Tablo 4.14: Uzunçayır Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1964	129.43	114.21	107.55	89.56	82.99	241.75	412.11	319.78	218.90	127.54	90.42	67.10
1965	63.00	74.05	74.42	62.44	57.67	228.42	561.53	520.60	300.75	177.98	125.63	90.13
1966	90.70	91.94	112.30	216.05	176.07	289.33	841.34	691.92	374.98	216.05	168.46	128.49
1967	120.87	129.43	148.47	129.43	105.64	201.77	644.34	951.75	402.58	266.49	172.27	132.29
1968	126.63	145.80	138.23	165.48	141.26	342.05	1142.19	879.85	401.58	256.29	178.59	132.18
1969	123.10	189.69	161.44	151.35	127.13	379.38	805.18	1075.59	461.11	274.45	202.81	150.34
1970	134.20	112.00	118.05	105.95	132.18	289.58	670.99	429.83	258.30	177.58	127.13	94.54
1971	94.75	114.02	143.28	96.16	86.17	291.60	544.86	499.46	298.66	194.74	145.30	105.95
1972	98.18	88.99	93.53	78.30	71.54	128.14	357.19	414.70	267.39	150.34	105.95	81.83
1973	83.04	79.41	69.32	60.94	66.69	109.98	273.44	276.47	156.40	101.91	72.75	59.73
1974	64.37	90.00	79.81	70.23	68.51	392.50	469.19	491.38	242.16	153.37	114.02	93.64
1975	87.94	81.70	91.56	82.21	72.79	184.33	588.45	467.80	255.67	167.20	114.18	89.16
1976	83.78	84.50	70.99	74.57	63.35	125.96	723.93	895.61	437.28	234.01	148.31	110.89
1977	144.29	133.19	153.37	104.94	129.15	277.48	507.53	636.68	327.93	211.89	148.32	110.99
1978	103.93	85.36	95.96	95.25	139.24	313.80	653.83	677.04	359.20	231.06	156.40	115.03
Toplam 15 yıllık ortalama	103.21	107.62	110.55	105.52	101.36	253.07	613.07	615.23	317.53	196.06	138.04	104.15

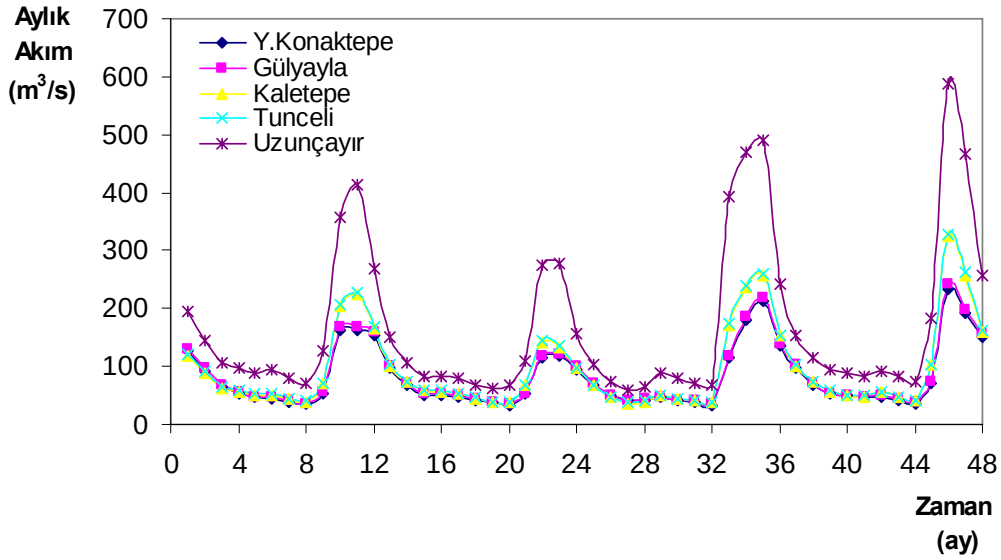
Tablo 4.15: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (m^3/s)

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Y.Konaktepe	60.22	60.59	55.67	50.17	44.00	81.97	228.67	253.92	176.82	126.62	90.40	65.28
Gülyayla	62.47	62.86	57.75	52.04	45.64	85.03	237.21	263.41	183.43	131.35	93.78	67.72
Kaletepe	65.05	67.11	66.58	59.12	53.37	124.35	326.61	323.65	186.93	127.44	91.65	68.37
Tunceli	65.97	68.07	67.53	59.96	54.13	126.12	331.24	328.25	189.58	129.25	92.95	69.34
Uzunçayır	103.21	107.62	110.55	105.52	101.36	253.07	613.07	615.23	317.53	196.06	138.04	104.15



Şekil 4.4: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar

1964 ile 1978 yılları arasında gelen toplam akımlar gözetilerek kuraklık açısından kritik dönem belirlenmiştir. Buna göre, kritik dönem olarak, 1971 - 1975 arasında seçilmiştir. Kritik dönem 1971 yılı Temmuz ayında başlatılmış, 1975 Haziran ayında ise sonlandırılmıştır. Bu kritik dönemde her bir baraja ait aylık akım gözlem değerleri Tablo 4.16 ve Şekil 4.5'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.5: Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar

Tablo 4.16: 1971-1975 yılları arasında Y.Konaktepe Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1971										126.53	92.79	65.07
1972	54.10	45.79	45.55	39.64	35.19	53.38	161.47	161.47	153.04	96.88	67.60	50.61
1973	50.01	47.48	42.05	37.48	33.86	52.66	114.11	117.49	95.68	68.44	49.41	40.01
1974	41.33	46.75	40.97	38.44	33.74	115.08	180.75	212.08	134.96	98.69	69.05	52.66
1975	49.77	46.97	48.67	42.83	36.17	71.46	234.31	191.93	151.32			

Tablo 4.17: 1971-1975 yılları arasında Gülyayla Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1971										131.25	96.25	67.50
1972	56.13	1.00	47.25	41.13	36.50	55.38	167.50	167.50	158.75	100.50	70.13	52.50
1973	51.88	49.25	43.63	38.88	35.13	54.63	118.38	121.88	99.25	71.00	51.25	41.50
1974	42.88	48.50	42.50	39.88	35.00	119.38	187.50	220.00	140.00	102.38	71.63	54.63
1975	51.63	48.73	50.49	44.43	37.53	74.13	243.06	199.10	156.98			

Tablo 4.18: 1971-1975 yılları arasında Kaletepe Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1971										118.32	89.43	63.20
1972	56.79	51.17	51.37	42.99	39.74	69.91	204.10	223.82	166.63	101.56	73.06	58.08
1973	57.58	53.64	45.26	38.45	39.14	67.84	142.97	134.10	96.04	67.25	46.44	36.48
1974	39.44	49.69	44.67	40.82	37.57	170.58	236.64	256.36	152.83	100.57	72.47	56.99
1975	50.92	48.56	55.94	47.83	40.29	102.49	324.32	258.12	159.35			

Tablo 4.19: 1971-1975 yılları arasında Tunceli Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1971										120.00	90.70	64.10
1972	57.60	51.90	52.10	43.60	40.30	70.90	207.00	227.00	169.00	103.00	74.10	58.90
1973	58.40	54.40	45.90	39.00	39.70	68.80	145.00	136.00	97.40	68.20	47.10	37.00
1974	40.00	50.40	45.30	41.40	38.10	173.00	240.00	260.00	155.00	102.00	73.50	57.80
1975	51.64	49.25	56.73	48.51	40.86	103.95	328.92	261.79	161.61			

Tablo 4.20: 1971-1975 yılları arasında Uzunçayır Barajına ait kurak dönem aylık akım değerleri (m^3/s)

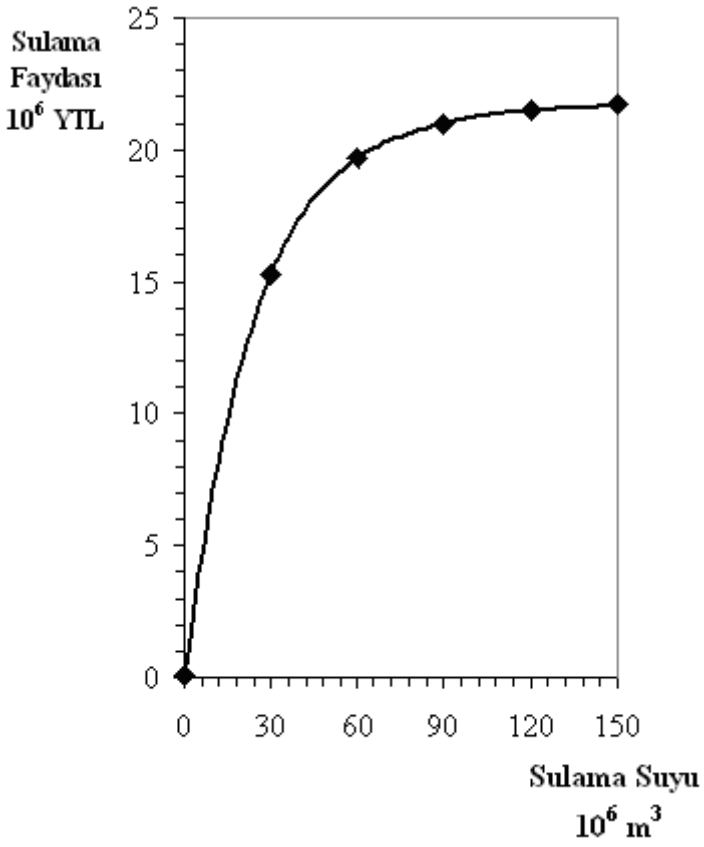
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1971										194.74	145.30	105.95
1972	98.18	88.99	93.53	78.30	71.54	128.14	357.19	414.70	267.39	150.34	105.95	81.83
1973	83.04	79.41	69.32	60.94	66.69	109.98	273.44	276.47	156.40	101.91	72.75	59.73
1974	64.37	90.00	79.81	70.23	68.51	392.50	469.19	491.38	242.16	153.37	114.02	93.64
1975	87.94	81.70	91.56	82.21	72.79	184.33	588.45	467.80	255.67			

4.5. Sulama – Fayda İlişkisi

Başlangıçta Munzur nehri üzerindeki 5 baraj sadece enerji amaçlı planlanmıştı. Ancak çok barajlı ve çok amaçlı su kaynakları sisteminde sadece enerji amaçlı optimizasyon değil, enerjinin yanı sıra su temini, sulama, taşkın-kuraklık kontrolü ve kirlilik kontrolü gibi değişkenler de tanımlanarak amaç fonksiyonu genişletilebilir. Bu çalışmanın amacı ise enerji ve sulamanın birlikte kullanıldığı bir çok amaçlı su kaynakları sisteminin tanımlanmasıdır.

İlk olarak Munzur havzasının tarım alanları ve kalitesi, iklimi ve sulama sistemleri incelenmiş buna karşılık her sezona göre sulama suyu miktarları ile bu su miktarına karşılık gelen üretim miktarları hesaplanmıştır. Yani birim alanın sulama ihtiyacı belirlenerek bu ihtiyaç sonucundaki sulama ile üretim faydası ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan işletmede bölgenin sadece yazın 3 ayında (haziran, temmuz, ağustos) sulama suyuna ihtiyacı olduğu varsayılmış ve sadece bu aylarda sistemden su çekilmiştir.

Şekil 4.6'da toplam yıllık sulama suyu miktarı ile sulama suyu faydasının değişimi gözlenmektedir. 90.10^6 m^3 sulama suyu kullanılarak elde edilen üretim miktarı ile 120.10^6 m^3 sulama suyu kullanılarak elde edilen arasında çok büyük bir farka ulaşılamamaktadır. Dolayısıyla sulama faydasını maksimuma ulaştırabilmek için sulama suyu miktarının $90–100.10^6$ m^3 seviyelerini aşmamasına dikkat edilmelidir. Bu seviye aşıldığında sulamadan dolayı yapılan üretimde bir artış olmamaktadır.



Şekil 4.6: Sulama suyu değişimi ile sulama suyu faydası

5. MUNZUR AKARSU HAVZASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

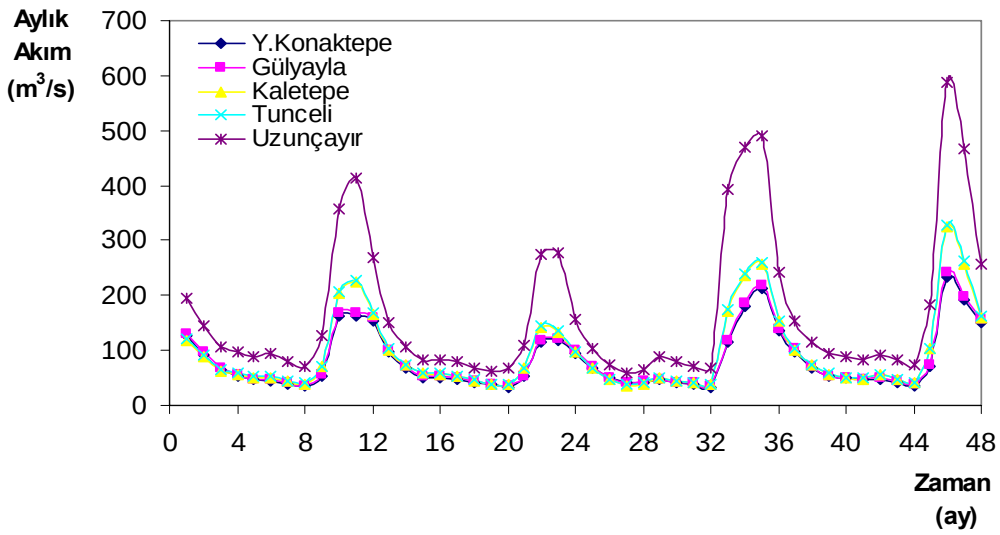
5.1 Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

5.1.1. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modele giren veriler

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

Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
Şekil 5.1' de, barajlara havzasından gelen kurak döneme ait 48 aylık akımlar
Tablo 5.1' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
Tablo 5.2' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarları
Tablo 5.3,4,5' de, barajlardaki aylık buharlaşma değerleri

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.



Şekil 5.1: Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait 48 aylık akımlar

Tablo 5.1: Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	**Y.Konaktepe**	**Gülyayla**	**Kaletepe**	**Tunceli**	**Uzunçayır**
S_i^{Maks} (10^7 m^3)	46	0	5	0	30
S_i^{Min} (10^7 m^3)	2	0	1	0	2

Tablo 5.2: Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları

Barajlar	**Y.Konaktepe**	**Kılavuzlu**	**Kaletepe**	**Tunceli**	**Uzunçayır**
Q_i^{Maks} (10^7 m^3/ay)	20	20	25	26	50

Tablo 5.3: Y.Konaktepe Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay)

O	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**
0	0	0	0	107,92	177,85	211,16	196,04	242.7	21,98	0	0

Tablo 5.4: Kaletepe Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay)

O	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**
0	0	0	0	107,92	177,85	211,16	196,04	242.7	21,98	0	0

Tablo 5.5: Uzunçayır Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay)

O	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**
0	0	0	0	41,49	171,50	232,45	231,98	141,86	8,18	0	0

5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Güvenilir güç, P_G=104.892 MW, ortalama güç, P_{ort}=126.350 MW, maksimum güç, P_{Maks}=226.310 MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=12

Şekil 5.2' de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan 48 aylık akım miktarları,

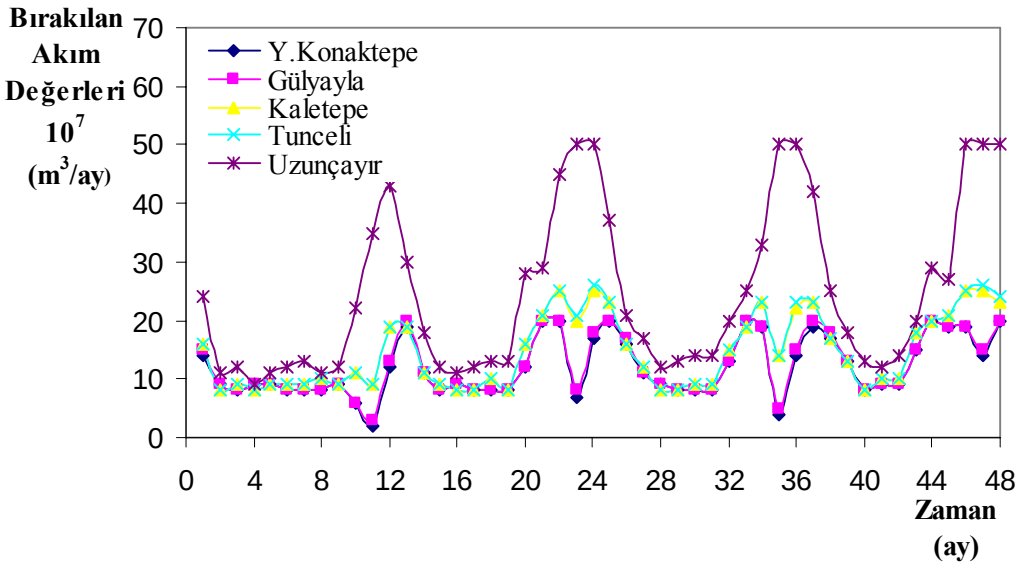
Şekil 5.3’ da, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan 48 aylık akım miktarları,

Şekil 5.4’ de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri,

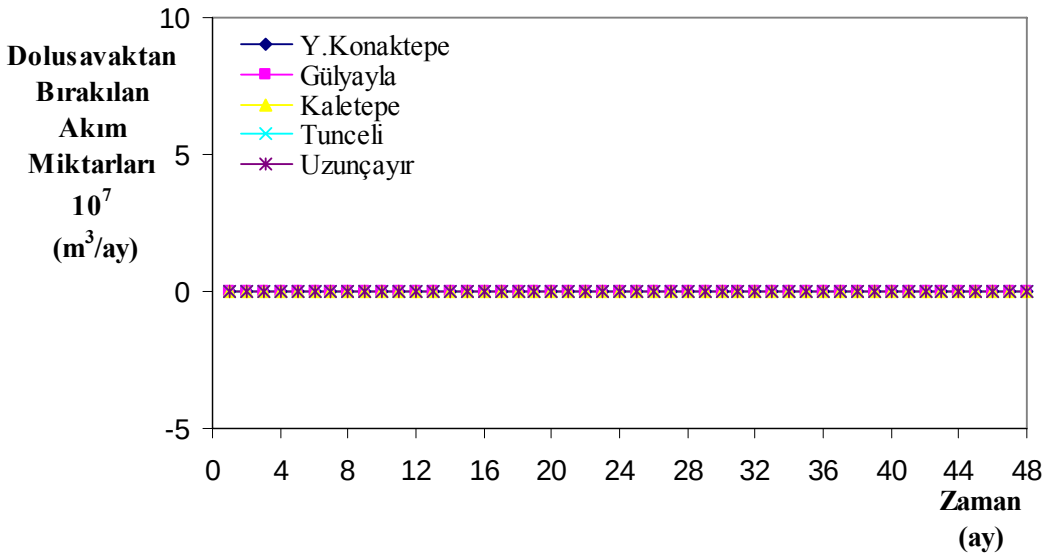
Tablo 5.6’ de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri,

Şekil 5.5’ da, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri,

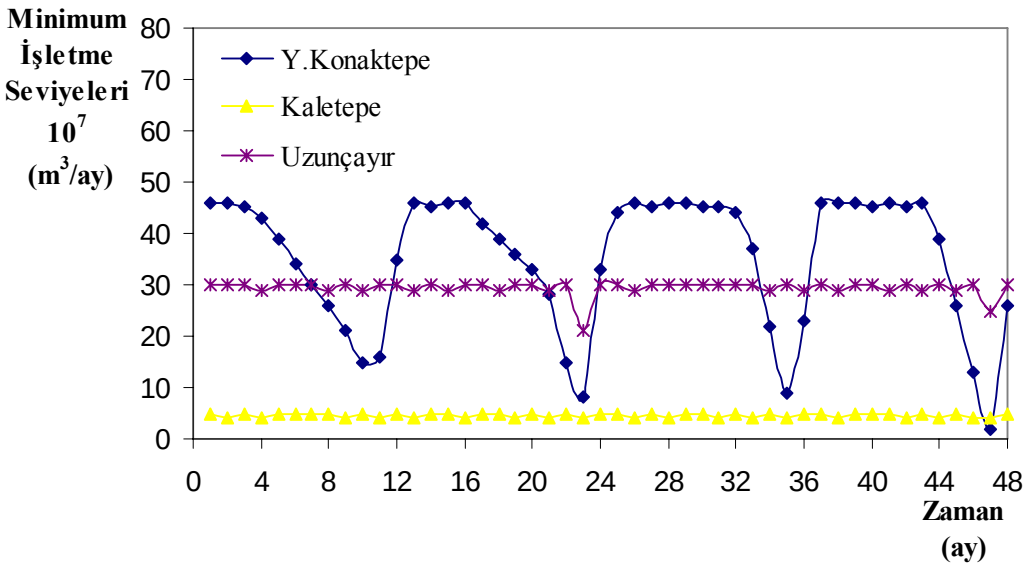
şeklinde elde edilmiştir. Kurak dönemin aylık akımları ile yapılan uzun süreli işletme sonucunda, aylık minimum işletme seviyeleri, güvenilir gücü enbüyükleyecek şekilde belirlenmiştir. Elde edilen aylık minimum işletme seviyelerine bakıldığı zaman, en büyük faydalı hacme sahip olan barajlardaki işletme seviyelerindeki değişim güvenilir gücün enbüyüklenmesinde etkili olmaktadır. Burada, Y.Konaktepe Barajı’ndaki işletme seviyesindeki değişim yukarıda önerilen görüşü desteklemektedir. Bu optimal işletme seviyeleri ve barajlara havzasından gelen aylık kritik akımlar kullanılarak, barajlardan bırakılan akımların tamamına yakını enerji üretimi için bırakılmıştır.



Şekil 5.2: Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan 48 aylık akım miktarları



Şekil 5.3: Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan 48 aylık akım miktarları

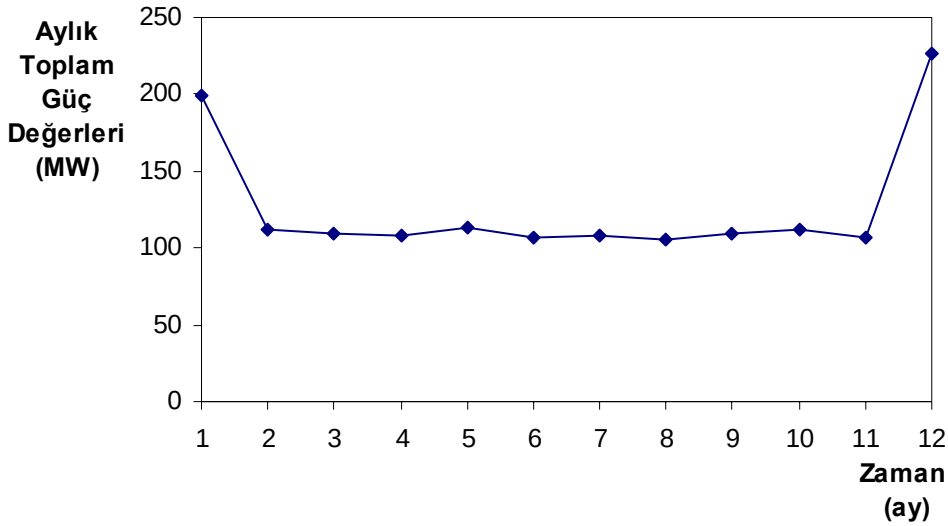


Şekil 5.4: Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

Gülyayla ve Tunceli Barajları biriktirmesiz nehir santralleridir. Bu barajlarda işletme bütün aylarda aynı seviyede kabul edilerek çözüme gidilmiştir.

Tablo 5.6: Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar(MW)					Toplam (MW)
	Y.Konaktepe	Gülyayla	Kaletepe	Tunceli	Uzunçayır	
Temmuz	73,576	37,032	32,588	12,344	44,142	199,68
Ağustos	47,299	22,219	16,294	6,172	20,232	112,22
Eylül	41,698	19,75	18,331	6,9435	22,071	108,79
Ekim	46,327	22,219	16,294	6,172	16,553	107,57
Kasım	45,522	22,219	18,331	6,9435	20,232	113,25
Aralık	39,476	19,75	18,331	6,9435	22,071	106,57
Ocak	38,612	19,75	18,331	6,9435	23,91	107,55
Şubat	37,575	19,75	20,368	7,715	20,232	**105,64**
Mart	40,133	22,219	18,331	6,9435	22,071	109,7
Nisan	26,237	14,813	22,404	8,4865	40,464	112,4
Mayıs	9,5296	7,4064	18,331	6,9435	64,374	106,58
Haziran	61,769	32,094	38,698	14,659	79,088	226,31



Şekil 5.5: Kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, buharlaşma miktarlarının gözetildiği kritik dönemin aylık akımları ile güvenilir güç enbüyüklenmekte ve güvenilir güç P_G=104.892 MW olarak elde edilmektedir.

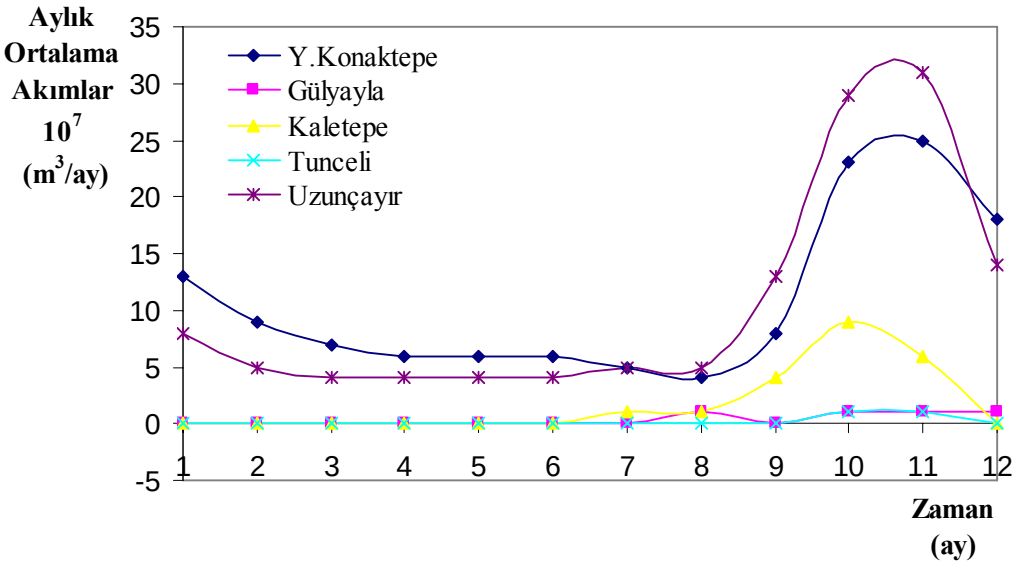
5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli planlamaya göre işletme optimizasyonunda sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek aynı zamanda toplam fayda (sulama+enerji faydası) değeri enbüyüklenmeye çalışılmaktadır. Sulama suyu miktarının optimum bir değerinde toplam fayda değeri enbüyük değerine ulaşmıştır. Optimum sulama suyu miktarı için modele girilen veriler:

Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
Şekil 5.6' da, barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar
Tablo 5.1' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
Tablo 5.2' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları
Şekil 5.3, 4,5' te, barajlardaki aylık buharlaşma değerleri
Güvenilir güç, P_G=104892 kW

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 sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek toplam enerjinin enbüyüklenmesine çalışılmaktadır. Buradan, optimum sulama suyu miktarına karşılık aylık normal işletme seviyeleri elde edilmektedir.



Şekil 5.6: Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar

5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde; parametrik olarak çekilen sulama suyu miktarına karşılık elde edilen optimize edilmiş toplam enerji

Sulama miktarı	= 30.10^7 m^3	iken	Port=159.330 MW-saat/yıl
Sulama miktarı	= 90.10^7 m^3	iken	Port=153.010 MW-saat/yıl
Optimum sulama suyu miktarı	= 60.10^7 m^3	iken	Port=156.170 MW-saat/yıl

olmaktadır.

Optimum sulama miktarına göre tablolar ve şekiller

Şekil 5.7' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

Şekil 5.8' de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

Şekil 5.9' de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

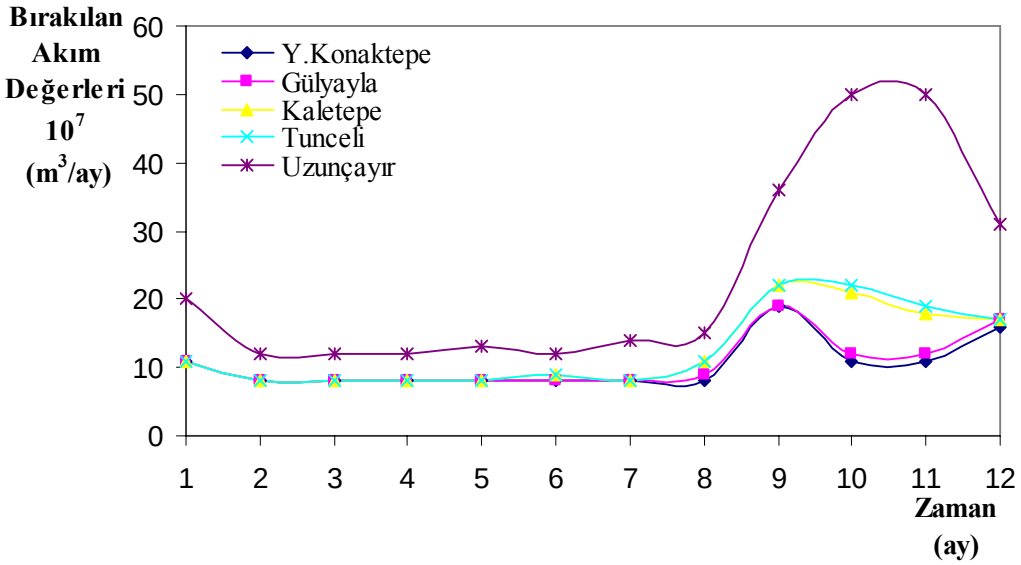
Tablo 5.7' de, toplam aylık güç değeri

Şekil 5.10' de, barajların aylık güç değerleri

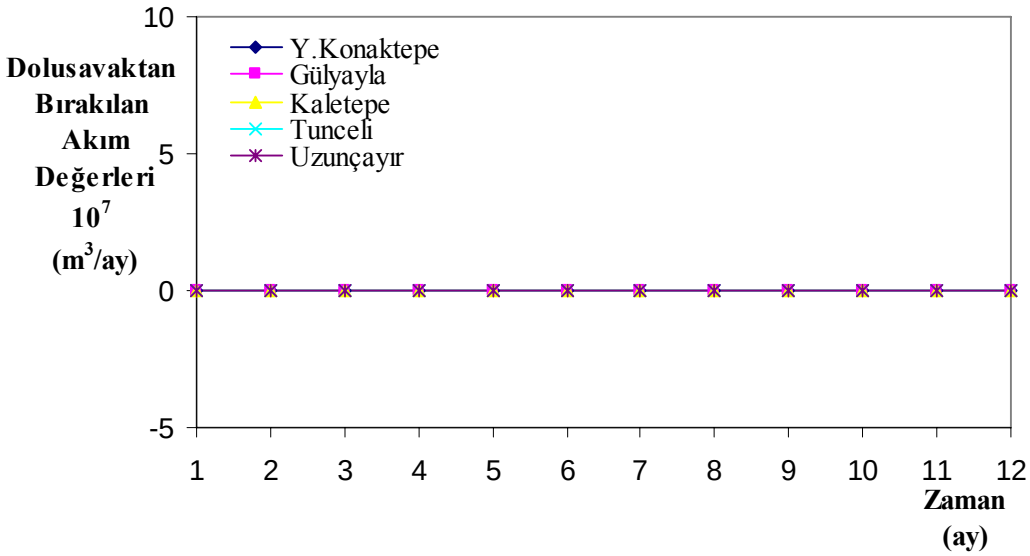
olarak elde edilmiştir.

Elde edilen aylık normal işletme seviyelerine bakıldığı zaman, Y.Konaktepe Barajı'ndaki işletme seviyesindeki değişim toplam enerjinin enbüyüklenmesinde etkili olmuştur.

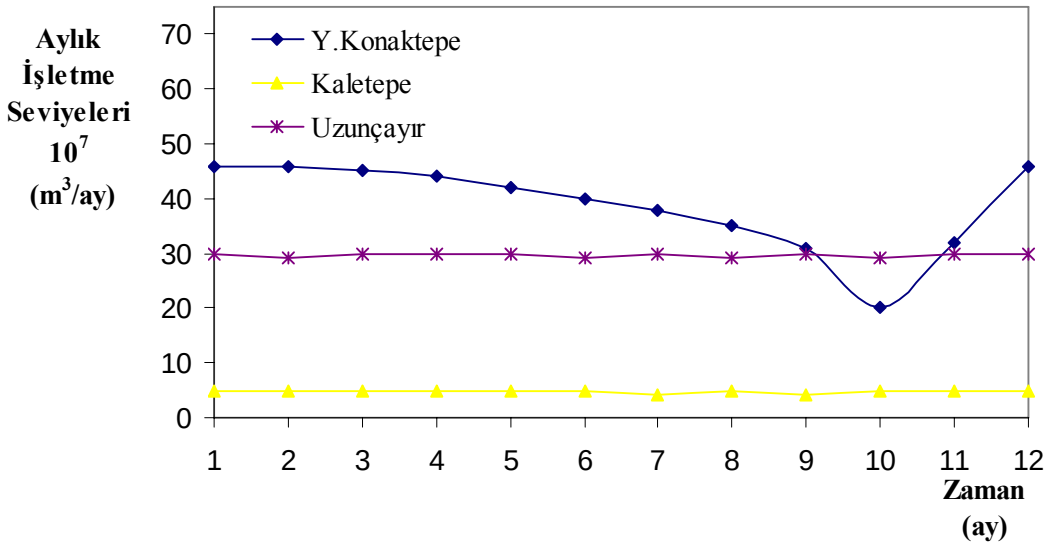
Barajlara havzasından gelen aylık akımlar, aylık normal işletme seviyelerinde karşılandığı zaman, barajlardan bırakılan akımlarının tümü enerji üretimi için bırakılmıştır.



Şekil 5.7: Barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları



Şekil 5.8: Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

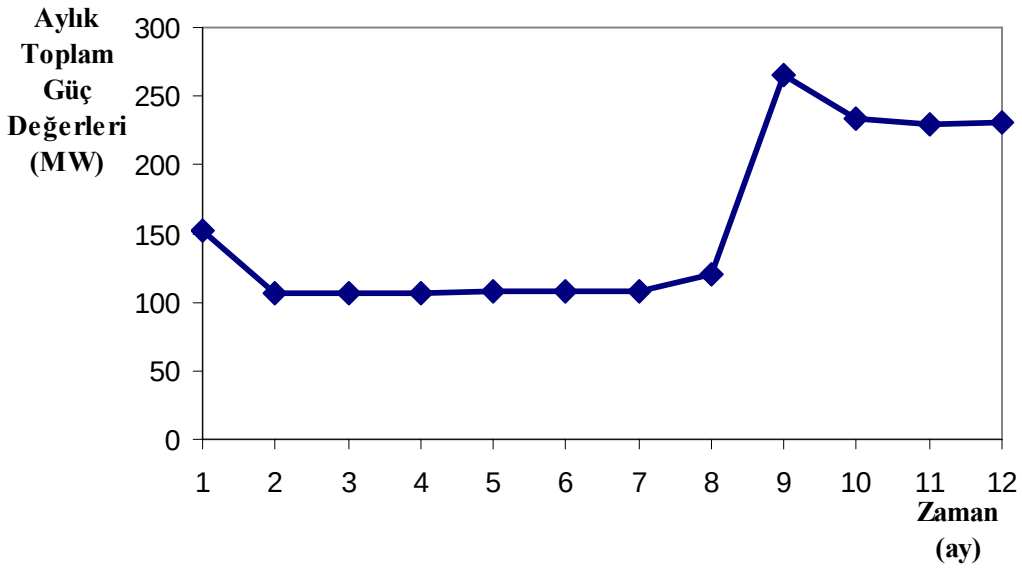


Şekil 5.9: Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri

Gülyayla ve Tunceli Barajları biriktirmesiz nehir santralleridir. Bu barajlarda işletme bütün aylarda aynı seviyede kabul edilerek çözüme gidilmiştir.

Tablo 5.7: Barajların aylık güç değerleri

Aylar	**Barajlar(MW)**					**Toplam (MW)**
	Y.Konaktepe	**Gülyayla**	**Kaletepe**	**Tunceli**	**Uzunçayır**	
Temmuz	57,81	27,157	22,404	8,4865	36,785	152,6425
Ağustos	42,044	19,75	16,294	6,172	22,071	106,331
Eylül	41,871	19,75	16,294	6,172	22,071	106,158
Ekim	41,525	19,75	16,294	6,172	22,071	105,812
Kasım	41,18	19,75	16,294	6,172	23,91	107,306
Aralık	40,834	19,75	18,331	6,9435	22,071	107,9295
Ocak	40,464	19,75	16,294	6,172	25,75	108,43
Şubat	39,674	22,219	22,404	8,4865	27,589	120,3725
Mart	90,531	46,907	44,809	16,973	66,213	**265,433**
Nisan	52,413	29,626	42,772	16,973	91,963	233,747
Mayıs	56,147	29,626	36,662	14,659	91,963	229,057
Haziran	84,087	41,97	34,625	13,116	57,017	230,815



Şekil 5.10: Aylık toplam güç değerleri

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta, buharlaşma miktarlarının gözetildiği ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve ortalama güç P_{ort} =156.170 MW olarak elde edilmektedir.

5.1.5. Toplam fayda değerinin (sulama + enerji) enbüyüklenmesinde modele girilen veriler

Munzur nehri üzerinde kurulan çok barajlı su kaynakları sistemi planlanırken, bölgenin dağlık bir alanda bulunmasından dolayı sadece enerji amaçlı olarak planlanmıştı. Ancak bu çalışma yapılırken çok barajlı ve çok amaçlı sistemlerin optimizasyonunu gerçekleştirebilmek için sistemin enerji ve sulama ihtiyacını birlikte karşılayabileceğini varsayılmıştır. Enerji optimizasyonu bütün bir yıl için yapılırken sulama ihtiyacı yılın sadece 3 yaz ayı (Haziran, Temmuz, Ağustos) boyunca parametrik olarak sistemden eşit miktarlarda çekilmiştir.

Sistemden çekilen sulama suyu miktarına karşılık sulama suyu faydasının değişimi Şekil 5.11'de grafiksel olarak verilmektedir. Bu grafik çeşitli bitkilerin sulama suyu

ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, sulama suyunun arttırılmasının bitkinin ürün verimliliğinin artışını yaklaşık nasıl etkilediğine göre belirlenmiştir.

5.1.6. Toplam Fayda (sulama+enerji faydası) için Elde Edilen Sonuçlar

Munzur nehri üzerinde kurulan çok barajlı su kaynakları sistemi planlanırken, bölgenin dağlık bir alanda bulunmasından dolayı sadece enerji amaçlı olarak planlanmıştı. Ancak bu çalışmayı yapılırken çok barajlı ve çok amaçlı sistemlerin optimizasyonunu gerçekleştirebilmek adına sistemin enerji ve sulama ihtiyacını birlikte karşılayabileceğini varsayıldı. Enerji optimizasyonu bütün bir yıl için yapılırken sulama ihtiyacı yılın sadece 3 yaz ayı (Haziran, Temmuz, Ağustos) boyunca parametrik olarak sistemden eşit miktarlarda çekildi.

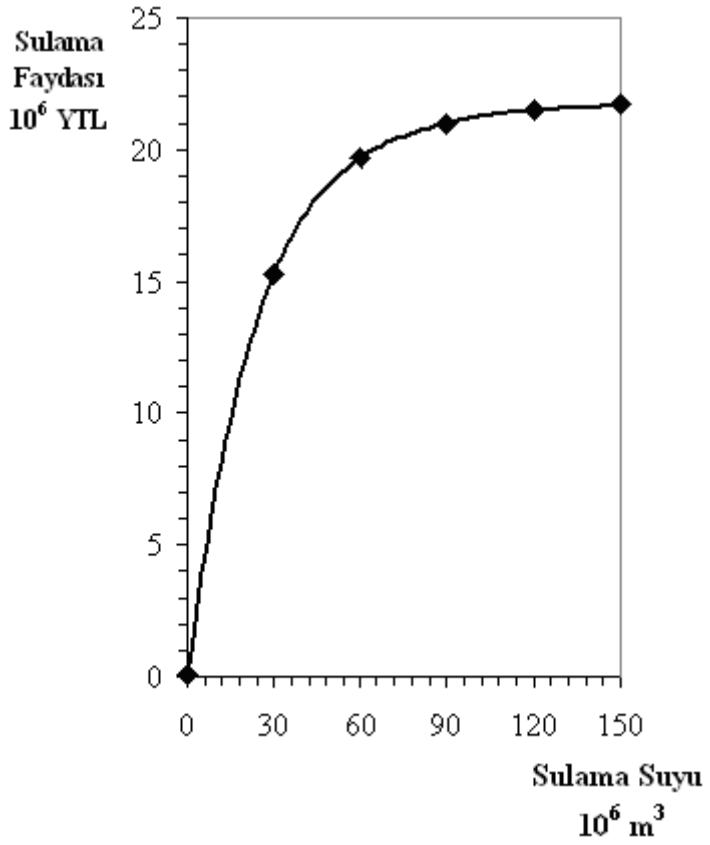
Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde, kurak dönemin aylık ortalama akımları kullanılarak güvenilir güç değeri enbüyüklenmekte ve aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmektedir. Aynı modelde, güvenilir güç değeri kısıt olarak kullanılarak ve sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek, toplam enerji değeri enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri elde edilmektedir. Sistemden çekilen sulama suyu miktarına karşılık sulama suyu faydasının değişimi Şekil 5.11'de gösterilmektedir. Burada çeşitli bitkilerin sulama suyu ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, sulama suyunun arttırılmasının bitkinin ürün verimliliğinin artışını yaklaşık nasıl etkilediğine göre belirlenmiştir.

Uzun süreli planlama için kurulan optimizasyon modelinin çalıştırılması sonucunda ortalama ve sekonder güç değerleri elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak Tablo 5.8' de, sulama suyu miktarına karşılık ortalama ve sekonder güç değerleri, Şekil 5.12' de, sulama suyu miktarına karşılık enerji faydası gösterildiğinde, sulama suyu miktarlarına karşılık olarak sulama-içme suyu faydası değerleri ile enerji faydası değerleri toplanarak toplam fayda değerleri elde edilmektedir. Şekil 5.13'de ve Tablo 5.9'da, sulama suyu miktarları karşılık toplam fayda değerleri gösterilmektedir.

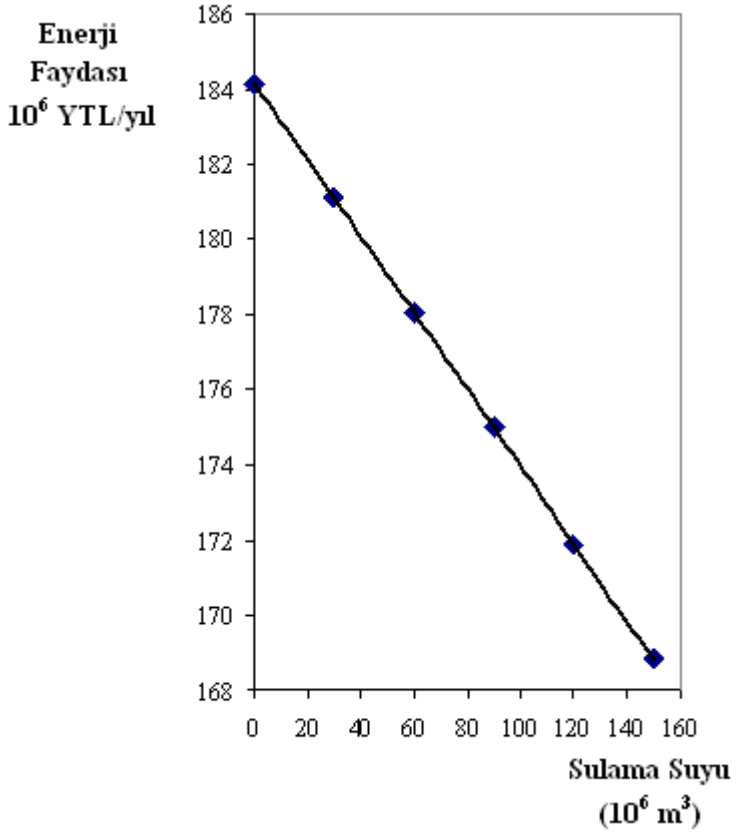
Burada, en büyük faydayı veren sulama miktarı 60.10^6 m^3 olup, bu değer, optimum sulama suyu miktarı olarak alınmıştır.

Tablo 5.8: Sulama suyu miktarına karşılık ortalama ve sekonder güç değerleri

Sulama suyu miktarı (10^6 m^3)	Güvenilir Güç (MW)	Sekonder Güç (MW)	Elde Edilen Toplam Güç (MW)
0	104,892	57,588	162,480
30	104,892	54,438	159,330
60	104,892	51,278	156,170
90	104,892	48,118	153,010
120	104,892	44,868	149,760
150	104,892	41,718	146,610



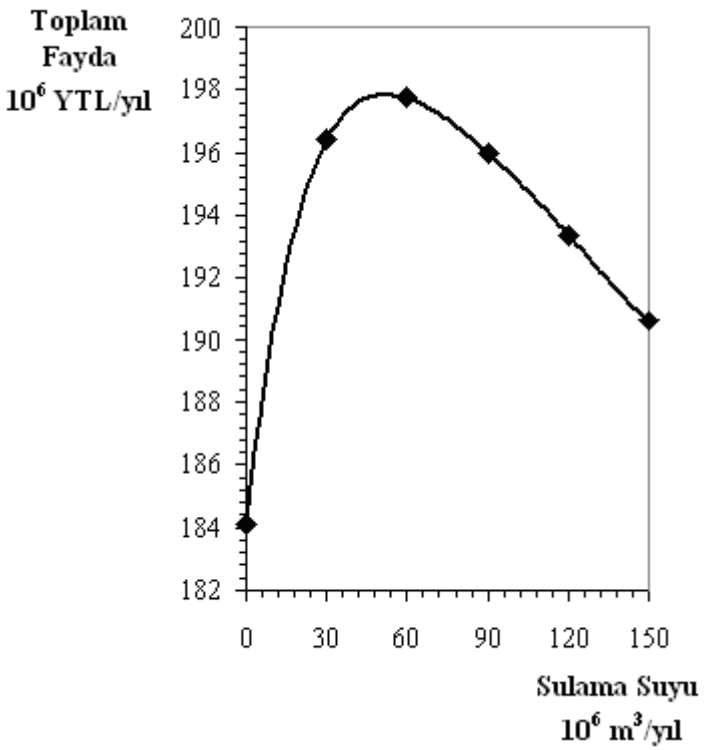
Şekil 5.11 Sulama suyu miktarına karşılık sulama suyu faydası



Şekil 5.12: Sulama suyu miktarına karşılık enerji faydası

Tablo 5.9: Sulama suyu miktarına karşılık Toplam Fayda Değerleri

Sulama suyu miktarı (10^6 m^3)	Güvenilir Güç (MW)	Sekonder Güç (MW)	Maksimum Sulama Faydası (10^6 YTL)	Maksimum Enerji Faydası (10^6 YTL)			Toplam (Sul.+ Top. En.) Faydası (10^6 YTL)
				Güvenilir Enerji Faydası (10^6 YTL)	Sekonder Enerji Faydası (10^6 YTL)	Toplam Enerji Faydası (10^6 YTL)	
0	104,892	57,588	162,480	128.640	55.492	184.131	184.131
30	104,892	54,438	159,330	128.640	52.456	181.096	196.396
60	104,892	51,278	156,170	128.640	49.411	178.051	**197.751**
90	104,892	48,118	153,010	128.640	46.367	175.006	196.006
120	104,892	44,868	149,760	128.640	43.235	171.874	193.374
150	104,892	41,718	146,610	128.640	40.199	168.839	190.839



Şekil 5.13: Sulama suyu miktarları karşılık toplam fayda değerleri

Burada sulama suyu miktarı arttıkça sulama suyu faydası artmakta ve enerji faydası azalmakta olduğu görülmektedir. Sulama suyu miktarının belirli bir değerinde toplam fayda değeri en büyük değerine ulaşmaktadır. Bu değer optimum sulama suyu olup 60.10^6 m^3'dür.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme için, bir akarsu havzasında, birbirine çeşitli şekillerde bağlanmış barajlardan oluşan bir su kaynakları sistemi bütün değişkenleriyle matematiksel olarak tanımlanmıştır. Buradan;

1. Sulama suyu miktarı arttıkça, sulama faydası artmakta ve sulama alanı sınırlı olduğundan belirli bir sulama suyu miktarında sulama suyu faydası sabit kalmaktadır. Bu çalışmada bu değer yaklaşık olarak 21.10^6 YTL'dir.

2. Sulama suyu arttıkça toplam fayda artmakta ve belli bir sulama suyu değerinden sonra azalmaktadır. Bu sulama suyu değerinde toplam fayda değeri en büyük değerine ulaşmaktadır. Bu değer optimum sulama suyu miktarıdır.

3. Sulama suyu miktarı arttıkça, sistemden çekilen su enerji üretimini azaltmakta ve bu azalmaya bağlı olarak enerji faydası da azalmaktadır.

4. Büyük depolama hacmine sahip barajın optimal işletmeyi yöneten ve yönlendiren durumda olduğu görülmüştür. Bu çalışmada Y.Konaktepe barajı işletme sürecini yönlendiren ve yöneten durumdadır.

5. Ceyhan ve Seyhan havzaları gibi tarıma elverişli verimli toprakları bulunan havzalarda, sulama suyu miktarına karşılık daha büyük faydalar elde edilebileceğinden toplam fayda üzerindeki etkisi daha büyük olacaktır.

Bu çalışmanın devamı olarak faydalı olabileceğini düşündüğümüz öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Modelde, sulak ve kurak aylarda sulama suyu çekilerek analiz yapılabilir.
2. Modelde sadece üç ay için ve ilk barajdan sulama suyu çekilmesi öngörülmüştür. Farklı aylarda ve barajlarda uygulanacak sulama suyu ihtiyacı için analizler yapılabilir.

3. Farklı senaryolar öngörülerek üretilen benzetim modelinden elde edilen sonuçlarla, optimizasyondan elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.
4. Kurak dönemde, sulama suyu çekimi yapılarak enbüyüklenmiş güvenilir güç değerleri elde edilmesi ve bu değerlerin toplam enerjinin enbüyüklenmesi için öngörülen modelde parametrik değişken ve kısıt olarak kullanılabilir, yani güvenilir güç parametrik olarak değiştirilebilir.
5. Bu çalışmada, yüzey sularından sulama suyu çekilerek işletme yapılmıştır. Bu duruma ilave olarak, yeraltı suyundan sulama suyu temin edilmesi için işletme yapılarak her iki durumda elde edilecek sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Açanal N., "Ceyhan Havzası'nda mevcut baraj sisteminin katastrofal ve 10.000 yıllık taşkınlara karşı davranışı üzerine bir araştırma", ***Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Adana, (104 S.), (1993).

2. Akbulut U., "Çok amaçlı baraj işletme çalışmaları ve Ceyhan Havzası'nın Hec-5 simülasyon programı ile modellenmesi", ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,***Ankara, (136 S.), (2003).

3. Archibald T., McKinnon, S. and Thomas l., "An aggregate stochastic dynamic programming model of multi-reservoir systems", ***Water Resources Research***, 33(2), 333-340, (1997).

4. Bellman R., "Dynamic Programming", ***Princeton University Pres***, Princeton, N.J., (1957).

5. Bellman R., and Dreyfus S., "Applied Dynamic Programming", ***Princeton University Pres***, Princeton, N.J., (1962).

6. Bayazıt M., Duranyıldız İ., "Çoklu baraj işletmesinde sistem analizi", ***Hidrolelektrik Enerji Sempozyumu Tebliğleri***, EİEİ, S.204-222, (1985).

7. Bayazıt M., Duranyıldız İ., "An iteratif method to optimize the operation of reservoir systems", ***Water Resources Management***, No.1, S.255-266, (1987).

8. Bayazıt M., Duranyıldız İ., "Hazne sistemlerinin işletilmesinin optimizasyonu", ***İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı Sempozyumu, İTÜ, İnşaat Fakültesi***, İstanbul, (1988a).

9. Bayazit M., Duranyıldız İ., "Optimal operation of reservoir systems in critical periods", ***Water Resources Management***, C.2, No.2, S.141-148, (1988b).

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

11. Chow W. T., Maidment D. R., Tauxe G. W., "Computer time and memory requirements for DP and DDDP in water resource systems analysis", ***Water Resources Research***, v.11, No.5, p.622-628, (1975).

12. El-Awar, F., Labadie. J., and Ouarda. T., "Stochasramming tic differential dynamic programming for multi-reservoir system control." ***J. Stochastic Hydrology Hydraulics***, 12,247-266, (1998).

13. Giles, J., and Wunderlich, W., "Weekly multipurpose planning model for TVA reservoir system", ***J. Water Resources Planning and Management***, 107(2),495-511, (1981).

14. Güvel Ş., P., "Ceyhan ve Seyhan Havzaları'nın Hec-5 programı ile taşkın kontrolü ve enerji optimizasyonu amaçlı simulasyonu", ***Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Adana, (123 S.) , (1997).

15. Hall, W., Harboe, R., Yeh, W., and Askew. A., "Optimum firm power output from a two reservoir system by incremental dynamic programming", ***Water Research Center***, University of California, Los Angeles, (1969).

16. Hiedari, M., Chow, V., Kotovic, P., and Meredith, D., "Diserete differencial dymamic programming approach to water resources system optimization", ***Water Resources Research***, 7(2), 2733-282, (1971).

17. Huang W., Harboe R. , and Bogardi, J.,"Testing stochastic dynamic programming models conditioned on observed or forecasted inflows" ***J. Water Resources Planning and Management***, 117(1),28-36, (1991).

18. Jacobson, H., and Mayne, Q., "Differential dynamic programming", ***Elsevier***, New York, (1970).

19. Jones, L. Willis, R., and Finney, B., "Water resources systems planning: Differential dynamic programming models" ***Proc. Water Forum.86, ASCE, Reston, Va.***, 1033-1040, (1986).

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

21. Kelman, J., Stedinger, J., Cooper, L., Hsu, E., and Yuan, S. Q., "Stampling stochastic dynamic programming applied to reservoir operation", ***Water Resources Research***, 26(3), 447-454, (1990).

22. Labadie, J., "Generalized dynamic programming package: CSUDP"
Documentation and user manual, Dept. Of Civil Engineering, Colorado State University, Ft., Collins, Colo., (1999).

23. Larson, R "State increment dynamic programming", ***Elsevier***, New York., (1968).

24. Yüksek İ., "Matlab ile mühendislik sistemlerinin analizi ve çözümü", ***Nobel Yayın,*** No.672, Ankara, (2004).

25. Muray.D., and Yakowitz, S., "Constrained differential dynamic programming and its application to multi-reservoir control", ***Water Resources Research***, 15(5).1017.1027., (1979).

26. Nopmongcol, P., and Askew. A., "Multi-level incremental dynamic programming", ***Water Resources Research***, 12(6),1291-1297, (1976).

27. Ouarda, T., "Stochastic optimal operation of large scale hydropower systems", ***PhD dissertation, Dept. Of Civil Engineering, Colorado State University***, Ft. Collins, Colo., (1991).

28. Ponnambalam, K., and Adams, B. "Stochastic optimization of mutlireservoir systems using a heuristic algorithm: Case study from India", ***Water Resources Research***, 32(3), 733-741, (1996).

29. Roefs, T., and Bodin, T., "Multireservoir operation studies", ***Water Resouces Research***, 6(2). 410-420, (1970).

30. Sen, S., and Yakowitz., S., "A quasi-Newton differential dynamic programming algorithm for discrete-time optimal control", ***Automatica***, 23(6), 749-752, (1987).

31. Sert M., Kızıltan G., Dalgıç A. İ., Karadeniz M., Ünal A. U., Uşkay S., "Bir akarsu üzerindeki bir seri hidroelektrik tesisin optimal boyutlandırma ve işletilmesi, Munzur Suyu Projesi Uygulaması", ***TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü***, Gebze-Kocaeli, (234 S.), (1982).

32. Sert M., Öcal M., Oktay N., Ertuğrul M., "Sakarya Havzası optimal enerji üretimi projesi", ***TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü***, Gebze-Kocaeli, (90 S.), (1983).

33. Sert M., "Havza Planlamasında Genel Amaçlı Sistem Yaklaşımı", ***DSİ Su ve Toprak Kaynakları Planlama Semineri***, Çağrılı Bildiri, Adana, (1986).

34. Sert M., "Su Kaynakları Planlamasında Sistem Optimizasyonu", ***TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü***, MBEAE Matbaası, Gebze, (1987a).

35. Sert M., "Su Kaynakları Sistem Planlamasının Otomasyonu", ***TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Yöneylem Araştırması Bölümü***, MBEAE Matbaası, Gebze, (1987b).

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

37. Stedinger, J., "The performance of LDR models for preliminary design and reservoir operation" ***Water Resources Research***, 20(2), 215-224, (1984).

38. Tejada-Guibert, J., Johnson, S., and Stedinger, J., "The value of hydrologic information in stochastic dynamic programming models of a multireservoir system", ***Water Resouces Research,***, 31(10), 2571-2579, (1995).

39. Trezos, T., and Yeh, W., "Stochastic dynamic programming and its application to multi-reservoir systems", ***Computerized decision support systems for wter managers, J. Labadie et al., eds., ASCE, Reston, Va.*** 559-571, (1989).

40. Trott W., J., Yeh W-G., ASCE, A., M., "Optimization of multiple reservoir system", ***Journal of The Hydraulic Division***, C.99, No.HY10, S.1865-1884, (1973).

41. Turgeon A., "Optimal operation of multi-reservoir power systems with stochastic inflows", ***Water Resources Research***, 16(2), 275-283, (1980).

42. Turgeon A., "Incremental dynamic programming may yield nonoptimal solutions", ***Water Resources Research***, C18, No.6, S.1599-1604, (1982).

43. Valdes, J., Montbrun-Di Filippo, J., Strzepek, K., and Restrepo, P., "Aggregation-disaggregation approach to multireservoir operation", ***J. Water Resources Planning and Management***, 118(4), 423-444, (1992).

44. Vasiliadis, H., and Karamouz, M., "Demand-driven operation of reservoirs using uncertainty-based optimal operating policies", ***J. Water Resources Planning and Management***, 120(1), 101-114, (1994).

45. Yakowitz, S., "Dynamic programming applications in water resources", ***Water Resources Research***, 18(3), 673-696, (1982).

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

47. Yeh, W., and Trott, W., "Optimization of water resources development: Optimization of capacity specification for components of regional, complex, integrated, multi-purpose water resources systems", ***Engineering Rep. No. 7245, University of California***, Los Angeles, (1972).

48. Yi, J., Labadie, J., and Stitt, S., "Dynamic optimal unit commitment and loading in hydropower systems", ***J. Water Resources Planning and Management***, 129(5), 388-398, (2003).

49. Young, G., "Finding reservoir operating rules", ***J. Hydraul. Div.***, ***Am. Soc. Civ. Eng.***, 93(6), 297-321, (1967).

50. Yurtal R., "Çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırımlı dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası'na uygulanması", ***Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Adana, (101 S.), (1993),

51. Yurtal R., "Çoklu Baraj Sistemlerinin Enerji Optimizasyonu için Geliştirilmiş Etkin Bir Artırımlı Dinamik Programlama Modeli", ***Journal of Engineering and Environmental Sciences***, No.19, pp.433-445, (1995).

52. Wooding R. A., "A hydraulic model for the catchment-stream problem, I. kinematic wave theory", ***Journal of The Hydrology.***, vol.3, pp.254-267, (1965a).

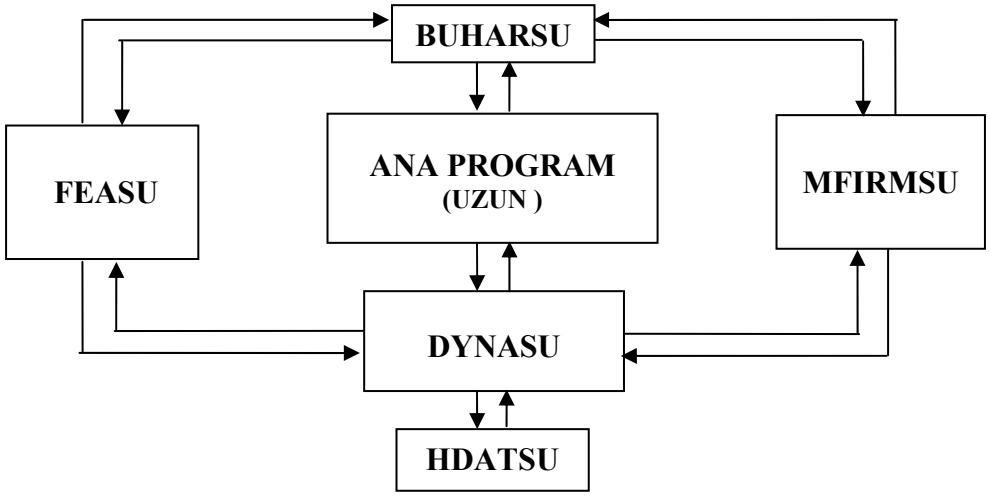
53. Wooding R. A., "A hydraulic model for the catchment-stream problem, II. numerical solutions", ***Journal of The Hydrology*** , vol.3, no.1, pp.268-282, (1965b).

54. Wooding R. A., "A hydraulic model for the catchment-stream problem, III. comparision with runoff observations", ***Journal of The Hydrology***, vol.4, no.1, pp.21-37, (1966).

EKLER

UZUN DÖNEMLİ İŞLETME MODELİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu işletme modeline ait bilgisayar programının yapısında, ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada amaç fonksiyonu, kritik dönemin aylık akımları kullanılarak güvenilir gücün enbüyüklenmesi şeklindedir. Elde edilen güvenilir güç aynı modelde kısıt olarak kullanılıp, sulama suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Modelde öngörülen amaca uygun olarak bilgisayar programı, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Bu program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla, birbirine seri veya paralel olarak bağlı ve istenen sayıda enerji amaçlı depolamalı ve depolamasız barajların oluşturduğu bir su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.



Şekil 1.1: Uzun dönemli işletme modeli için bilgisayar programının yapısı

Bilgisayar programı, bir ana program ve beş alt programdan oluşmaktadır. Programın yapısı ve ana programla alt programların birbiri ile ilişkileri Şekil 1.1' de verilmiştir.

Bilgisayar programının ana program ve alt programın dosya ismi uzantıları *.m şeklinde olup, giren ve çıkan verilerin dosya ismi uzantıları *.mat şeklindedir.

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 jx10^7 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)

SU(i,j) : i-barajında j-zamanda sulama suyu için 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 :Sonuçlamayı belirleyen indis (her durum değişkeni için çözümün sabit kalmasıyla artmakta olup ITRM=M olduğunda en iyi çözüm bulunmuştur.)

1.1. Uzun (Ana Program)

Ana programın yaptığı işlemler şunlardır:

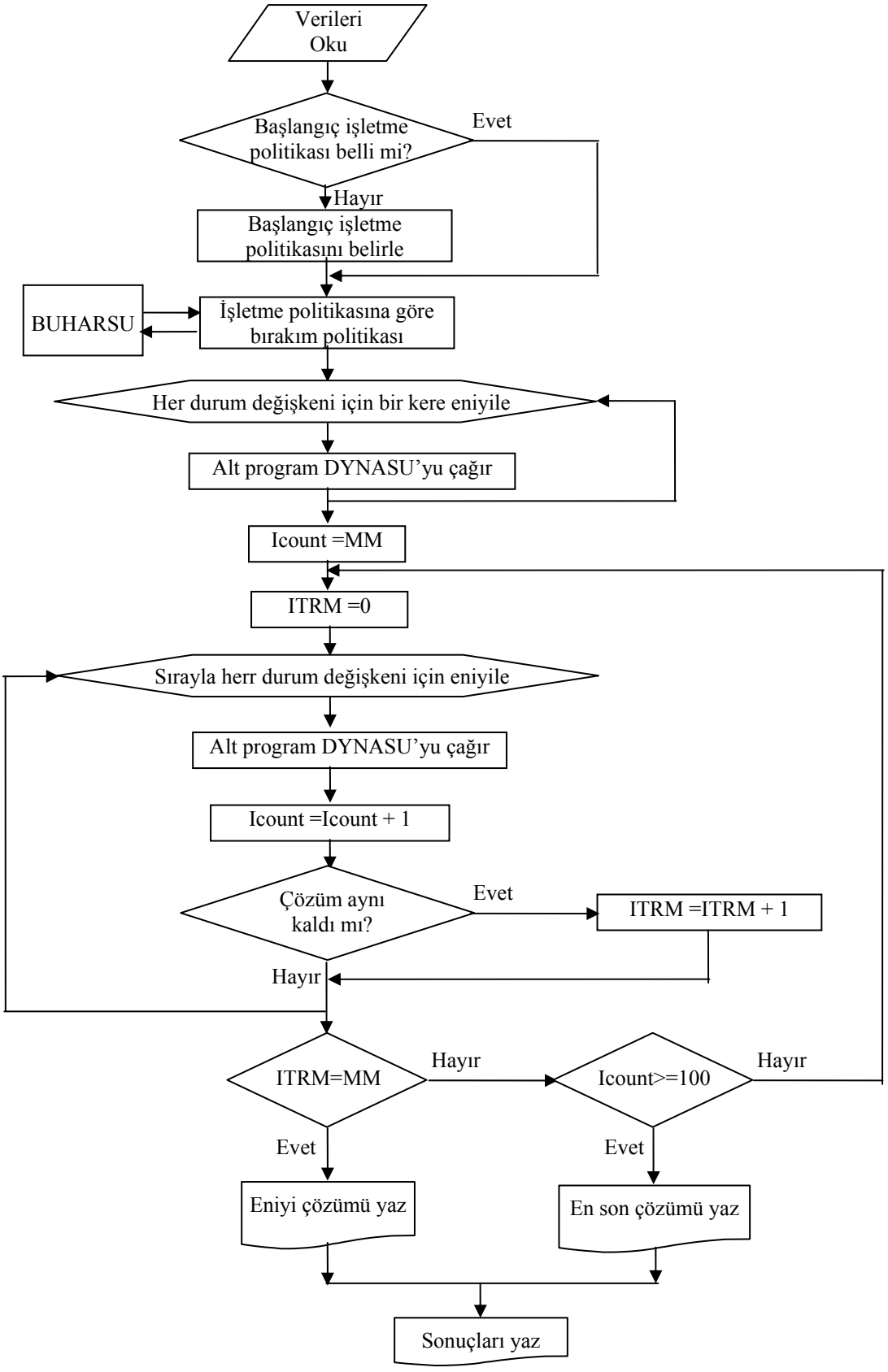
1.Verilerin okunması işlemi

- 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),
- Her bir barajın her bir döneminde sulama için bırakılması öngörülen su suyu miktarları (SU),

şeklinde olmaktadır.

2. 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 1.2: Ana program UZUN için genelleştirilmiş akış şeması

3. 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, buharlaşma miktarını belirlemek ve buna göre depolanmış su seviyeleri miktarını ayarlamak için alt program BUHARSU' ya gidilip ana programa dönüldükten sonra, aşağıdaki denklemde depolamalı barajlarda enerji üretimi için bırakılan su miktarı,

IQ(i,j)=JF(i,j)+IS(i,j)-IS(i,j+1)-SU(i,j) (i=1 için)
IQ(i,j)=JF(i,j)+IQ(i-1,j)+IR(i-1,j)+IS(i,j)-IS(i,j+1)-SU(i,j) (i=2,3,…M için)

şeklinde belirlenmektedir. Depolamasız barajlarda işletme seviye sabit tutulduğu için havzadan gelen akım doğrudan bu seviyeden bırakılarak enerji üretimi yapılmaktadır. Depolamalı barajlarda, enerji üretimi 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.

4. Başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için ana programdan alt program DYNASU' ya gidilmektedir. Alt program DYNASU ile ilgili açıklamalar Bölüm A.1.1' de verilmektedir. (i=JS:durum değişkeni göstergesi, JS=1,2,…M:Baraj sayısı)

5. 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 DYNASU' 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

Şeklinde 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.

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

1.1.1. Dynasu (Alt Program)

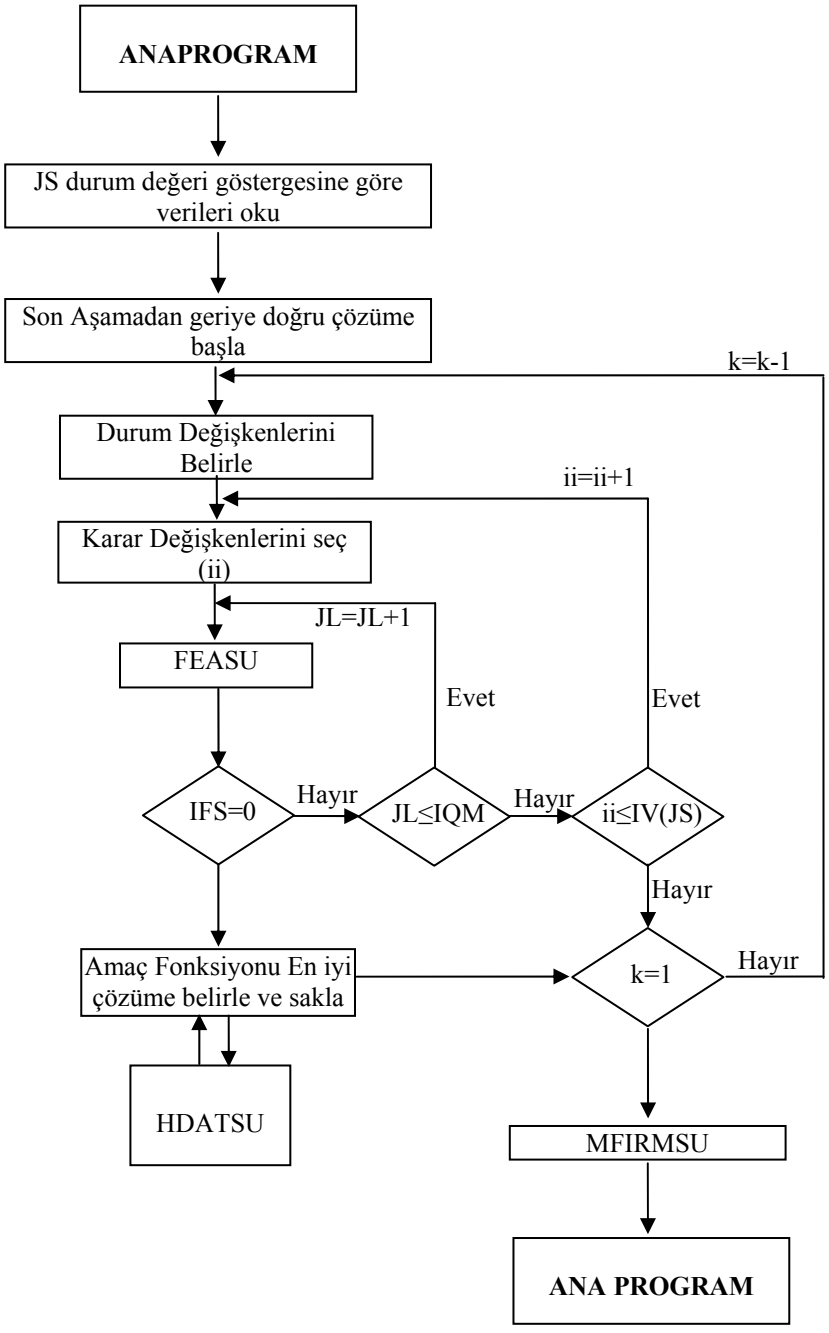
Ana program tarafından çağırılan bu alt program içerisinde, her bir aşamaya ait durum ve karar değişkeni değerlerinin sırayla ele alınarak amaç fonksiyonunda değerlendirildiği bir programdır. DYNASU alt programa bağlı diğer alt programlar, FEASU, MFIRMSU ve HDATSU şeklindedir.

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 1.3: Alt programın DYNASU 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) 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.

3. HDATSU 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)*FS+PGV*FF)*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 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.

4. Alt program DYNASU' dan alt programı MFIRMSU' 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 DYNASU' dan alt program MFIRMSU' ya gidilmektedir. Burada ise, JS-durum değeri göstergesi altında oluşturulan eniyi çözümler arasından eniyisi seçilerek optimal işletme politikaları belirlenmektedir. Bununla ilgili ayrıntılara alt program MFIRMSU anlatırken girilecektir.

5. Ana programa geri dönülmesi ile alt program DYNASU sonlandırılmaktadır.

1.1.2. Feasu (Alt Program)

FEASU, DYNASU 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 DYNASU' ya bildirilmektedir.

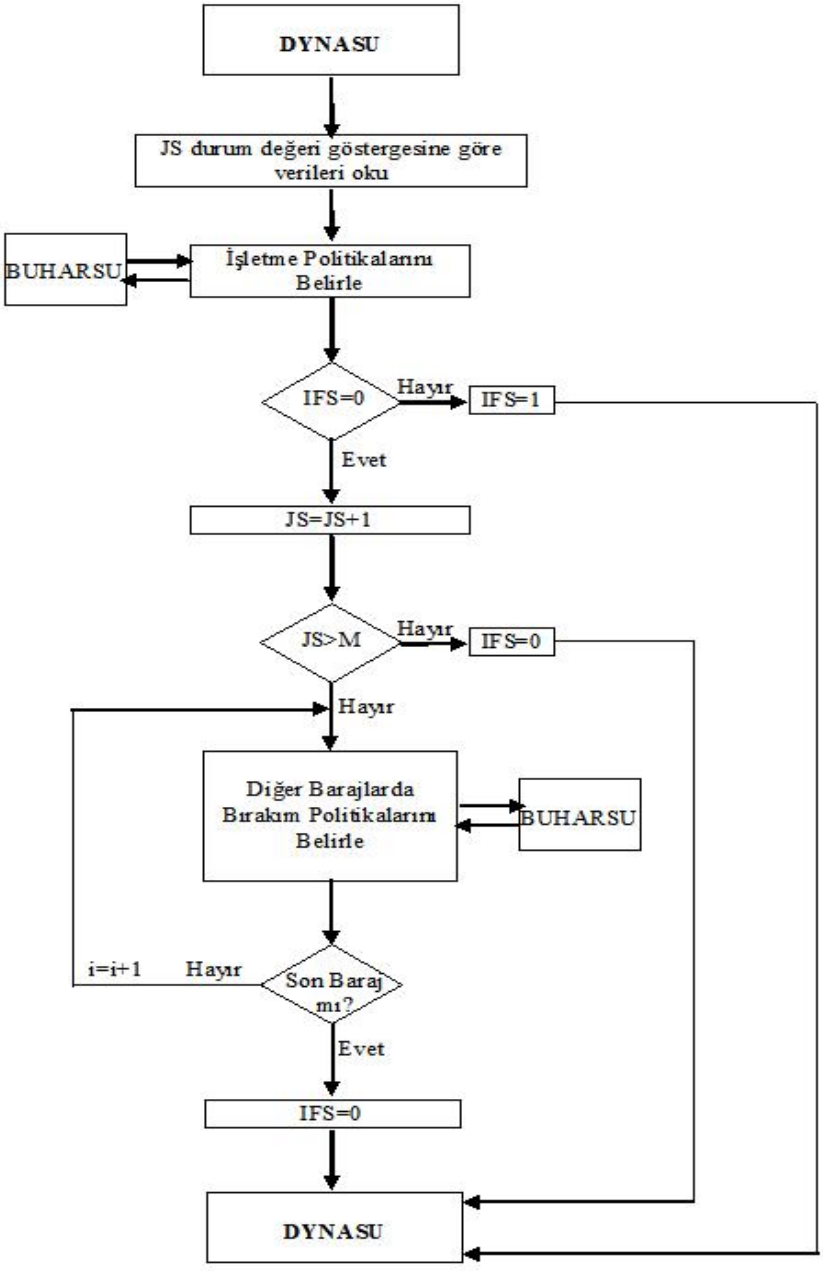
Bu alt programda yapılan işlemler şöyledir. JS-durum değeri göstergesi ile gönderilen durum değişkeni ve karar değişkenleri kullanılarak, JS-durum değişkeni göstergesine karşılık gelen barajda işletme seviyesi belirlenmekte ve bu değer kapasite değerleri ile karşılaştırılarak IFS göstergesinin alacağı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

IS(JS,k) değerleri kullanılarak, buharlaşma miktarını belirlemek ve buna göre depolanmış su seviyeleri miktarını ayarlamak için alt program BUHARSU' ya gidilip alt program FEASU' a dönüldükten sonra,

IR(JS,k)=0

IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) (JS=1 için)

IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IQ(JS-1,k)+IR(JS-1,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) (JS=2,3…M için)



Şekil 1.4: 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 DYNASU' 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 değerin 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)-SU(JS,k)

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. İlk olarak, burada barajlardaki işletme seviyeleri sabit tutulduğu için, su dengesi ilişkisinden bırakım miktarları, buharlaşma miktarını belirlemek ve buna göre depolanmış su seviyeleri miktarını ayarlamak için alt program BUHARSU' ya gidilip alt program FEASU' ya dönüldükten sonra, depolamalı barajlarda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı, IR(i,k)=0 kabul ederek,

IQ(i,k)=JF(i,k)+IQ(i-1,k)+IR(i-1,k)+IS(i,k)-IS(i,+1,k)-SU(i,k) (i=2,3,..M için)

olarak belirlenip, bu değer, enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarını aşıyorsa,

IQ(i,k)>IQM(i) ise IR(i,k)=IQ(i,k)-IQM(i), IQ(i,k)=IQM(i)

olarak elde edilmektedir. Depolamasız barajlarda işletme seviye sabit tutulduğu için havzadan gelen akım doğrudan bu seviyeden bırakılarak enerji üretimi yapılmaktadır. Bu değerler belirlendikten sonra, IFS=0 alınarak alt program DYNASU' ya geri dönülmektedir.

1.1.3. Mfirmsu (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 MFIRMSU' dir .

Bu alt programda yapılan işlemler şu şekildedir. JS-durum değişkeni göstergesi için bütün durum ve karar değişkenleri kullanılarak, elde edilen sonuçlar, alt program DYNASU' 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)

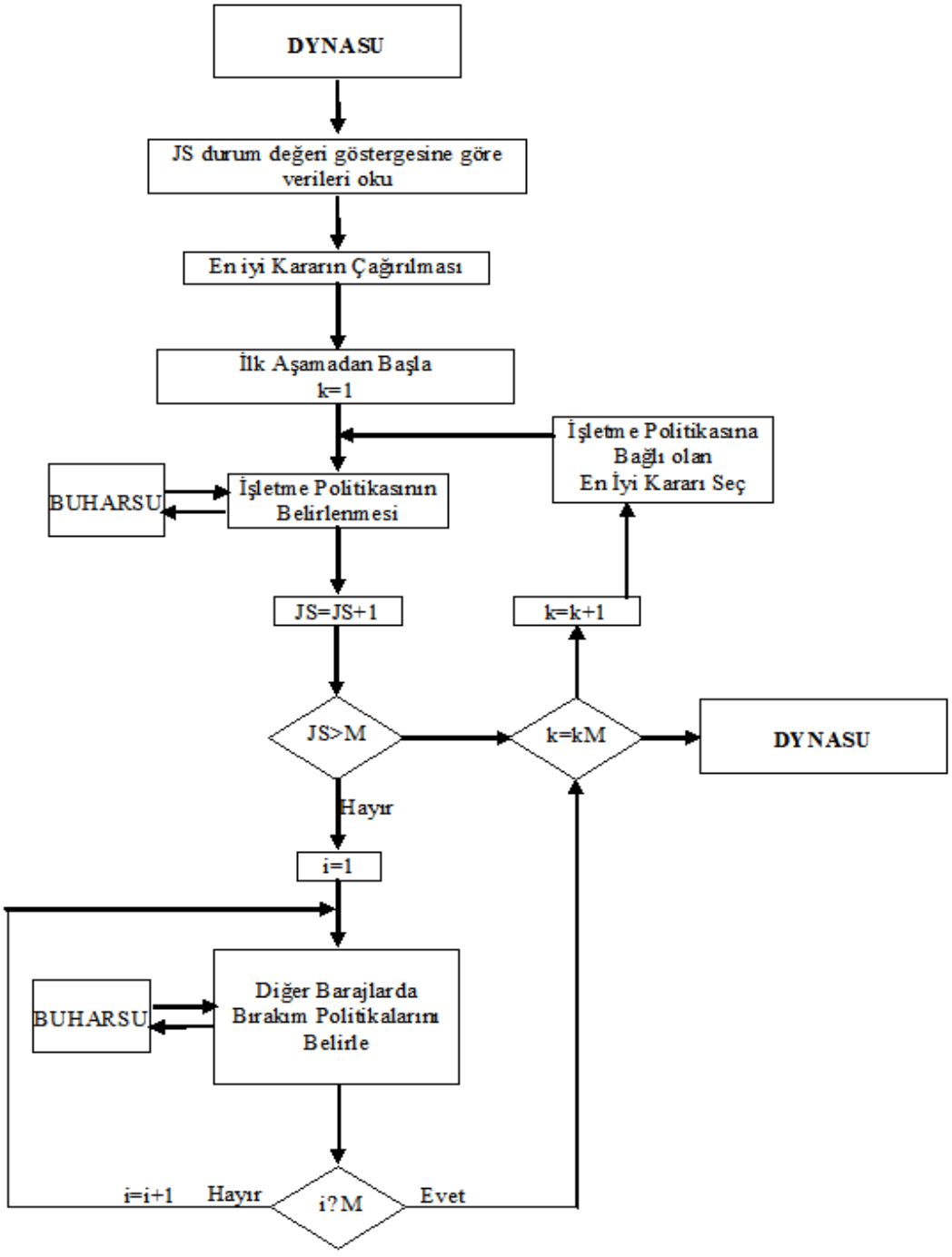
şeklinde olmakta, buradan ilk aşamadan başlanarak işletme politikaları, buharlaşma miktarını belirlemek ve buna göre depolanmış su seviyeleri miktarını ayarlamak için alt program BUHARSU' ya gidilip alt program MFIRMSU' ya dönüldükten sonra,

IR(JS, k)=0
IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) (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) (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 1.5: Alt program MFIRMSU 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, şu şekildedir. İlk olarak, burada barajlardaki işletme seviyeleri sabit tutulduğu için, su dengesi ilişkisinden bırakım miktarları, buharlaşma miktarını belirlemek ve buna göre depolanmış su seviyeleri miktarını ayarlamak için alt program BUHARSU' ya gidilip alt program MFIRMSU' ya dönüldükten sonra, depolamalı barajlarda enerji üretimi için bırakılan akım miktarı, IR(i,k)=0 kabul ederek,

IQ(i,k)=JF(i,k)+IQ(i-1,k)+IR(i-1,k)+IS(i,k)-IS(i, k+1) (i=2,3,..M için)

olarak belirlenip, bu değer, enerji için bırakılacak maksimum su miktarını aşıyorsa,

IQ(i,k)>IQM(i) ise IR(i,k)=IQ(i,k)-IQM(i), IQ(i,k)=IQM(i)

olarak elde edilmektedir. Depolamasız barajlarda işletme seviye sabit tutulduğu için havzadan gelen akım doğrudan bu seviyeden bırakılarak enerji üretimi yapılmaktadır. 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.

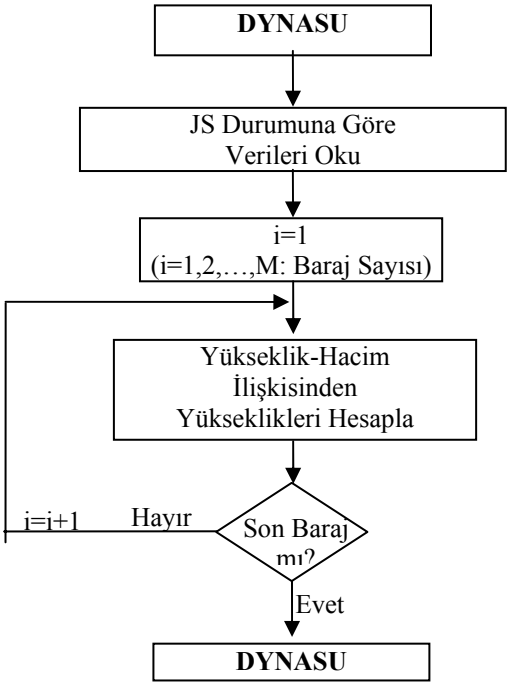
1.1.4. Hdatsu (Alt Program)

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

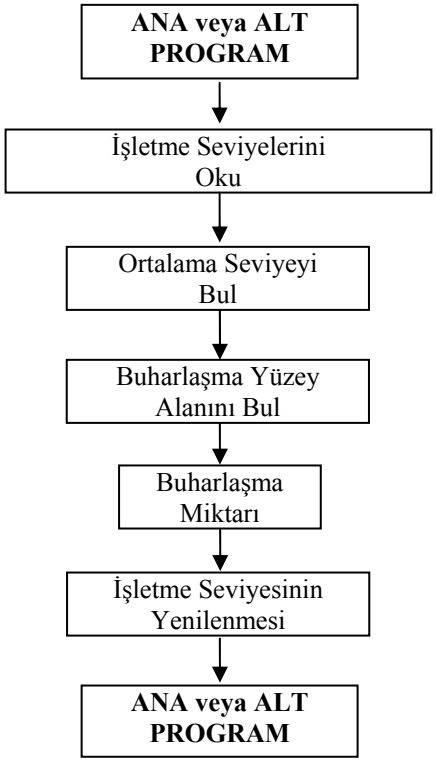
Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. Alt program DYNASU' da amaç fonksiyonu ile ilgili aşama faydasını belirlendiği yerde, JS-durum değeri göstergesine karşılık olan barajda herhangi bir ii-durum değişkenine ait depolanan su miktarına göre JS xii boyutunda yükseklik matrisinin oluşturulması için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

1.1.5. Buharsu (Alt Program)

Bu alt program, ana program ve diğer alt programların çalıştırılması esansında çağrılmaktadır. Ortalama işletme seviyesine bağlı olarak su yüksekliği değerinin belirlenmesini ve buradan ilgili baraj yüzey alanı bulunmaktadır. Aylık olarak verilen buharlaşma yüksekliği ile bu yüzey alanı çarpılarak buharlaşma miktarı hesaplanmakta ve bu miktar ilgili işletme seviyesinden düşülerek çağrıldığı programa veya altprograma geri dönülmektedir.



Şekil 1.6: Alt program HDATSU için genelleştirilmiş akış şeması



Şekil 1.7: Alt program BUHARSU için genelleştirilmiş akış şeması

Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. Çağrıldığı programdan gelen işletme seviyelerine bağlı olarak ortalama işletme seviyesi aşağıdaki şekilde belirlenmektedir. Buna göre,

ISORT=(IS(i,k)+IS(i,k+1))/2

olmaktadır. Buradan, i-barajına karşılık gelen seviye-yükseklik değişimini gösteren denklemden su yüksekliği değeri (HT(i,k)) alınmaktadır. Bu değer alan-yükseklik değişimini gösteren denklemde yerine konularak i-barajına ait buharlaşma olacak yüzey alanı belirlenmektedir. Bu alan değeri de i-barajının k-ayına ait buharlaşma yüksekliği ile çarpılarak, buharlaşma miktarı elde edilmektedir. Buharlaşma miktarını B(i,k) ile gösterildiğinde, i-barajına k+1-ayından bu değer düşülerek, işletme seviyesi yenilenmektedir. k+1 zamanından düşülmesinde amaç, buharlaşma miktarı kaybını ay sonu olarak değerlendirmektir. Buna göre işletme seviyesi,

IS(i,k+1)=IS(i,k+1)-B(i,k)

olarak belirlenmekte ve bu işlemden sonra çağrılan programa geri dönülmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kdz. Ereğli'de doğdu. İlköğrenimini Alaplı Atatürk İlkokulunda, Ortaöğrenimini Ted. Kdz. Ereğli Koleji vakfı Özel Lisesinde tamamladı. 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılında, Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.