KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YER ALTI SULARININ VE YÜZEY SULARININ BİRLİKTE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Emir KORKUT

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK

KOCAELİ, 2008

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERALTI SULARININ VE YÜZEY SULARININ BİRLİKTE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emir KORKUT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 21 Temmuz 2008

Tez Danışmanı
Prof.Dr. Ergün ÖZTÜRK

Üye
Yrd.Doç.Dr. Aydın KAVAK

Üye
Doç.Dr. Hafzullah AKSOY

KOCAELİ, 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışma konusunun seçilmesinde ve çalışmanın her safhasında desteğini,bilgisini ve bilgeliğini bizlere aşılayarak gelecek hayatlarımızda başarılı olmamızı sağlayan,tezin son safhalarında vefat (01 Eylül 2007) eden danışman hocam merhum Prof. Dr. Mahmut SERT' e ve hocamızın vefatından sonra bizi açıkta bırakmayarak tüm sorumluluk yükümüzü omuzlarına alarak bize destek veren Bölüm Başkanımız danışman hocam Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK' e ve bu çalışmada bize zaman ayırıp gerekli yardımları yapan Dr.Müh Mücahit OPAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen ailem,annem;Sıdıka KORKUT, babam;H.Emre KORKUT'a ,tez süresince beni her türlü yönden destekleyen işverenlerime içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Prof. Dr. Mahmut SERT' in anısına…

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER LİSTESİ iv
TABLOLAR LİSTESİ vi
SİMGELER viii
ÖZET x
İNGİLİZCE ÖZET xi

1.1GİRİŞ 1
1.2. Çok Barajlı Sistemlerde Uzun Süreli Planlama 1
1.3. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu 2
1.4.Çok Barajlı Sistemlerde Optimizasyon Yapısı İçinde Parametrik Değişken Kullanımı 3
1.5. Uygulama Amaçlı Olarak Ceyhan Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi 4
2. SU KAYNAKLARINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU 6
2.1. Giriş 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
2.4.MATLAB dili 21
2.4.2.Geliştirme ortamı 21
2.4.3.Grafik işlemleri 21
2.4.4.MATLAB matematiksel fonksiyon kütüphanesi 21
2.4.5.MATLAB uygulama programı arabirimi 22

3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ 23
3.1. Sistemin Tanımlanması 23
3.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli 30
4. CEYHAN HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ 34
4.1. Giriş 34
4.2. Buharlaşma Değerleri 40
4.3. Yükseklik-Hacim İlişkileri 40
4.4. Yükseklik-Alan İlişkileri 43
4.5. Barajlara gelen akımlar 43
4.6. Menzelet Barajında Kuyu Bölgesine Ait Özellikler 51

5. CEYHAN 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 61
5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler 62
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 73
KAYNAKLAR 75
EKLER 80
ÖZGEÇMİŞ 99

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci 3
Şekil 1.2: Ceyhan Havzası'nın görünüşü 5
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 23
Şekil 3.2: Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri 23
Şekil 4.1: Ceyhan Havzası'nın şematik görünüşü 35
Şekil 4.2: Ceyhan Havzası'nda Ceyhan Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü..... 36
Şekil 4.3: Menzelet Barajı'nın görüntüsü..... 37
Şekil 4.4: Kılavuzlu Barajı'nın görüntüsü 38
Şekil 4.5: Sır Barajı'nın görüntüsü 38
Şekil 4.6: Berke Barajı'nın görüntüsü..... 39
Şekil 4.7: Aslantaş Barajı'nın görüntüsü..... 39
Şekil 4.8: Menzelet Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri..... 41
Şekil 4.9: Kılavuzlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri 41
Şekil 4.10: Sır Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri 41
Şekil 4.11: Berke Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri..... 42
Şekil 4.12: Aslantaş Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri 42
Şekil 4.13: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar..... 50
Şekil 4.14: Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar 50
Şekil 4.15: Herhangi bir Kuyunun Şematik Görünüşü 51
Şekil 4.16: Menzelet Barajın'da herhangi bir Kuyuda H-Qoptimum değişimi 53
Şekil 4.17:Menzelet Barajı'nda sabit bir Ks değerine karşılık H-Gi,t değişimi..... 53
Şekil 5.1: Menzelet Barajın'da,(kuyulardan çekilen)optimum sulama-içme suyu miktarında aylık minimum işletme seviyesi 58
Şekil5.2: Kılavuzlu Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi 58
Şekil5.3: Sır Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi 58
Şekil5.4: Berke Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi 59
Şekil5.5: Aslantaş Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi 59
Şekil5.6: Kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık toplam güç değerleri 60
Şekil5.7: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Menzelet Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi 64
Şekil5.8: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Kılavuzlu Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi 65

Şekil 5.9: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Sır Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi 65
Şekil 5.10: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak,Berke Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi..... 65
Şekil 5.11: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Aslantaş Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi 66
Şekil 5.12: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak aylık toplam güç değerleri 67
Şekil 5.13: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık sulama-içme suyu faydası 68
Şekil 5.14: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık güvenilir güç değerleri 69
Şekil 5.15: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık enerji faydası 70
Şekil 5.16: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları karşılık toplam fayda değerleri 70
Şekil 5.17: Yeraltı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık sulama-içme suyu faydası 71
Şekil 5.18: Yeraltı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık enerji fayda 72
Şekil 5.19: Yeraltı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık toplam fayda 72

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1: Ceyhan Havzası' nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağlı bulunan barajlara ait veriler [Akbulut, 2003] 37
Tablo 4.2: Baraj aksından aksına Ceyhan Nehri'nin uzunluğu 39
Tablo 4.3: Ceyhan Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Akbulut, 2003] 40
Tablo 4.4: Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde yükseklik hacim ilişkisi parametreleri (h=a.Vn, h (m), V (107 m3)) 42
Tablo 4.5: Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde alan yükseklik ilişkisi parametreleri (A=b.hm, A (106 m2), h (m)) 43
Tablo 4.6: Menzelet Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m3/s) [Akbulut, 2003] 44
Tablo 4.7: Kılavuzlu Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m3/s) [Akbulut, 2003] 45
Tablo 4.8: Sır Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m3/s) [Akbulut, 2003] 46
Tablo 4.9: Berke Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m3/s) [Akbulut, 2003] 47
Tablo 4.10: Aslantaş Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m3/s) [Akbulut, 2003] 48
Tablo 4.11.a: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (m3/s) 49
Tablo 4.11.b: 1973-1974 yılları arasındaki kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m3/s) 49
Tablo 4.12: Herhangi bir kuyu için optimum çekilecek su miktarı değerleri 52
Tablo 5.1: Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar 54
Tablo 5.2: Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri 54
Tablo 5.3: Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları 55
Tablo 5.4: Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay) 55
Tablo 5.5: Menzelet Barajı etrafındaki kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları. ...55
Tablo 5.6: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları.....55
Tablo 5.7 : Barajlardan kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları 57
Tablo 5.8: Barajlardan kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, dolu savaktan bırakılan akım miktarları 57
Tablo 5.9: Barajlardaki kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyeleri 57
Tablo5.10:Barajların kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık güç değerleri gi bir kuyu için optimum çekilecek su miktarı değerleri 60
Tablo 5.11:Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar 61
Tablo 5.12: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları 63
Tablo 5.13: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları 64
Tablo 5.14: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri 64
Tablo 5.15: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajların aylık güç değerleri 66

Tablo 5.16: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu ve güvenilir güç değerlerine karşılık olarak elde edilen ortalama ve sekonder güç değerleri 69

SİMGELER

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

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),

$G_{i,t}$: i-barajından t-zamanda kuyulardan çekilen su miktarı

$G_{i,t}^{Min}$: Kuyulardan çekilecek minimum sulama-içme suyu miktarı

$G_{i,t}^{Maks}$: Kuyulardan çekilecek maksimum sulama-içme suyu miktarı

k_s : Herhangi bir i-barajı için açılacak kuyu sayısı

Q_k :Gözeneklerin tıkanmaması için gerekli olan debi

R :Kuyu etki yarıçapı

K :Hidrolik geçirgenlik katsayısı

H : Akifer kalınllığı

d_{10} :Elek analizinde malzemenin %10' nun geçtiği dane çapı

$P_{i,t}$: i-barajında t-zamanda elde edilen ortalama güç

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 :Dinamik programlama, (Dynamic programming)
DDP :Ayrık dinamik programlama, (Discrete dynamic programming)
IDP :Artırımlı dinamik programlama (Incremental dynamic programming)
DDP :Farksal dinamik programlama (Differential dynamic programming)
DDDP :Ayrık farksal dinamik programlama (Discrete differential dynamic programming)
DPSA :Ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama (Dynamic programming with successive approximations)
IDPSA :Ardışık yaklaştırmalı artırımlı dinamik programlama (Incremental dynamic programming with successive approximations)
MIDP :Çok-seviyeli artırımlı dinamik programlama (Multilevel incremental dynamic programming)
SDP :Stokastik Dinamik Programlama (Stochastic Dynamic Programming)

YER ALTI SULARININ VE YÜZEY SULARININ BİRLİKTE KULLANIMI

Emir KORKUT

Anahtar kelimeler: Su Kaynaklarının Planlaması, Çok Barajlı Çok Amaçlı Sistemler, Uzun Süreli Optimal İşletme, Yeraltı Suyu Kullanımı, Enerji Üretimi, Dinamik Programlama

Özet: Su kaynakları planlaması, ülke ekonomisi ve öngörülen hayat standartları ile bütünleşmiş, çok boyutlu ve karmaşık bir süreçtir. Su kaynakları planlaması, istenilen amaçlar doğrultusunda ve öngörülen kriterler çerçevesinde su kaynaklarının en verimli kullanımını sağlayacak faaliyetlerin tümünü kapsamalıdır.

Bu çalışmada, çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi tanımlanmıştır. Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik değişken olarak gözönüne alındığı uzun sureli planlama için işletme optimizasyonu modeli kurulmuştur. Model Ceyhan Havzası'nda ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi üzerine uygulanmıştır. Optimizasyon modelinde, kurak dönemin aylık ortalama akımları kullanılarak ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı paremetrik olarak değiştirilerek, güvenilir güç değerlerinin enbüyüklenmesi gerçekleştirilmiş ve ardışık yaklaştırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Aynı modelde, güvenilir güç değerleri parametrik değişken ve kısıt olarak yerleştirilerek, aylık ortalama akımlar kullanılarak ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek toplam enerjinin enbüyüklenmesine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar hem enerji faydası hem kuyulardan çekilen sulama-içme suyu faydası hem de toplam fayda bakımından değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, işletme neticesinde, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı artıkça güvenilir güç değeri azalmakta, sulama faydası artmakta ve enerji faydası azalmakta olduğu görülmüştür. Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı 60.10^6 m^3 olduğu yerde toplam fayda değeri 498,535. 10^6 YTL olup, toplam fayda en büyük değerine ulaşmıştır. Açılan kuyu sayısı sabit olduğu bir durumda yeraltı su seviyesi yükselince, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı artmakta, sulama-içme suyu faydası artmakta ve enerji faydası azalmakta olduğu görülmüştür. Yeraltı suyu seviyesinin 24.5 m olduğu yerde toplam fayda değeri en büyük değerine ulaşmıştır.

COMBINED USE OF GROUND WATER AND THE SURFACE WATER
Emir KORKUT

Keywords: Water Resources Planning, Multiple Reservoir Multiobjective Systems, Long Term Optimal Operation, Ground Water Usage, Energy Production, Dynamic Programming

Abstract: Water resources planning integrated with the country economics and the suggested life standards is a very dimensional and complex process. Water resources planning and management have to cover all of activities to provide optimal uses of water recourses, in presented targets direct and in the frame of the suggested critics.

In this study, a water resources system with multiobjective and multiple-reservoir is described. Optimal operational model for long term planning, taken into consideration irrigation-drinking water supplied from wells as parametric variation, is established on it. The model is applied to a water resources system with multiple reservoir and multiobjective presented successively in the Ceyhan Basin. In optimization model, by using the monthly mean inflow data of the draught period and changing irrigation-drinking water supplied from wells parametrically, maximizing of the firm power values is realized, and the technique of dynamic programming with successive approximations is used. In the same model, the maximization of the total energy is achieved by locating the firm power values as parametric constant and parametric variable, using the data of the monthly average flow and changing the irrigation-drinking water supplied from wells parametrically. Results obtained are evaluated to energy production, ground water supply and total benefit.

As a result of optimal operational model for long term planning,when the value of the irrigation-drinking water supplied from wells increases the firm power decreases,at the same time irrigation benefit increases and the total benefit decreases. When the value of the water supplied from wells reached 60.10^6 m^3 the total benefit value becomes 498,535. 10^6 YTL and that point it has been the maximum value of the total benefit.When the numbers of the wells taken as a constant,and the underground water level increases,the irrigation-drinking water supplied from wells increases,the benefit of the irrigation-drinking water supplied from wells increases but the total energy benefit decreases.Where the underground water level becomes 24.5 m,it has been observed that total benefit value becomes of its maximum value.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Su, hayatın kaynağı, dünyanın ¾'ü; vücudumuzun %80'sudur. Kana kana içtiğimiz, duş yaptığımız, yağmur olup yağdığında sevindiğimiz ama sel olup aktığında korktuğumuz su,insan için çok önemlidir. Ama öte yandan da dünya nüfusunun artması, küresel ısınmaya bağlı iklim değişiklikleri, suyun yeryüzündeki dağılımı ve kullanım şekli, su ile ilgili ciddi sorunların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bundan ötürü, su kaynakları planlaması, ülke ekonomisi ve öngörülen hayat standartları ile bütünleşmiş, çok boyutlu ve karmaşık bir süreçtir. Su kaynakları planlaması, istenilen amaçlar doğrultusunda ve öngörülen kriterler çerçevesinde su kaynaklarının en verimli kullanımını sağlayacak faaliyetlerin tümünü kapsamalıdır.

Çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme, oluşan şartlara en uygun olacak şekilde sistemin işletme stratejilerinin belirlenebilmesi için, uzun ve kısa süreli planlama çalışmalarının dikkatle yapılması büyük önem taşımaktadır.

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

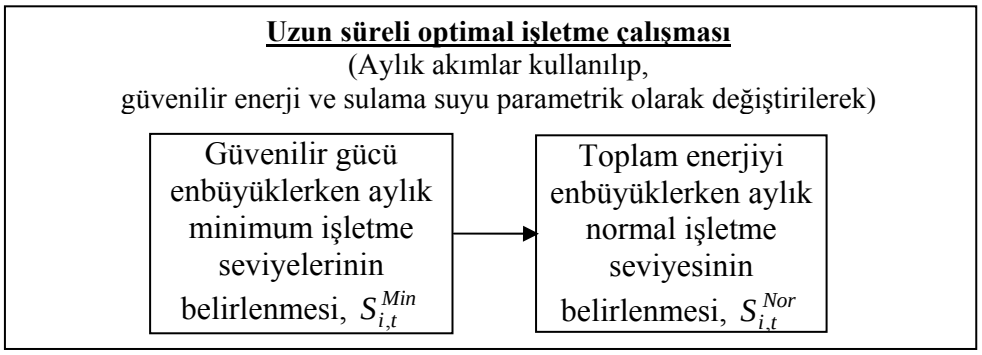
önüne geçerek en düşük zararlarla sistemden en yüksek faydayı elde edebilmek olmalıdır.

Burada sunulan çalışmada, çok barajlı ve çok amaçlı bir su kaynakları sistemi tanımlandıktan sonra, bu sistemde kuyulardan çekilen sulama-içme 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 ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik değişken olarak kabul edilerek yapılan işletme neticesinde, aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmiş ve parametrik kabul edilen sulama-içme suyu değerlerine karşılık enbüyüklenmiş güvenilir güç değerleri belirlenmiştir. Bu güvenilir güç değerleri, aynı modelde parametrik kısıt ve değişken olarak tanımlanarak ve kuyulardan çekilecek sulama-içme suyu miktarları parametrik olarak değiştirilerek, toplam enerji enbüyüklenmekte ve normal işletme seviyeleri elde edilmektedir.Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık olarak sulama-içme suyu faydası ve enerji faydası değerleri hesaplandıktan sonra, bu veriler ile toplam fayda değerleri elde edilmiştir. Yeraltı su seviyesi ile elde edilen 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 ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu parametrik olarak değiştirilerek güvenilir güç enbüyüklenmekte ve aylık minimum işletme seviyeleri ($S_{i,t}^{Min}$) elde edilmektedir. Buradan enbüyüklenen güvenilir güç değerleri, aynı modelde parametrik kısıt olarak kullanılıp, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu parametrik olarak değiştirilerek aylık ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve 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. Optimizasyon çalışmalarında aşağıda verildiği gibi çeşitli amaçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bunlar:

1. Enerji faydası ile sulama-içme suyu faydasının enbüyüklenmesi,

2. Enerji faydası enbüyüklenirken taşkın zararının enküçüklenmesi,

3. Enerji ve sulama faydası enbüyüklenirken, taşkın zararının enküçüklenmesi,

şeklinde olabilir. Bu faydaların birlikte kullanılması ya hedef programlama yada parametrik değişken yaklaşımı ile mümkün olabilir.

Parametrik değişkenin herhangi bir optimizasyon yapısında kullanılması kısaca aşağıda verilmektedir. Bunlar;

1. Parametrik değişkenin alt ve üst sınırları arasında herhangi bir değer atanması.

2. Atanan bu değere karşılık fayda değerinin bilinmesi. (Örneğin: Parametrik değişken olarak kabul edilen sulama miktarına karşılık gelen sulama faydasının bilinmesi gibi)

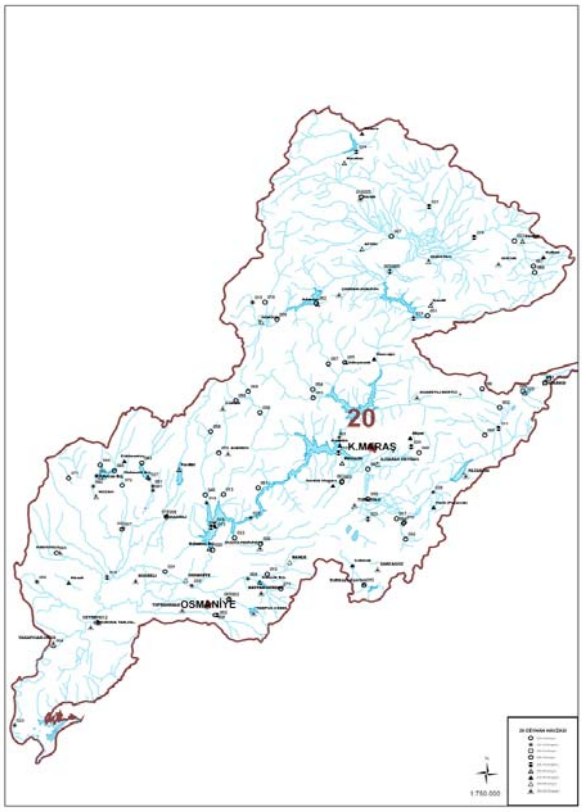
3. Optimizasyon yapısı içerisinde yapısal denklemlerin içerisine parametrik değişken olarak konulan değişkenin herhangi bir değerine karşılık amaç fonksiyonunun ürettiği değerin belirlenmesi.

4. Parametrik değişken faydası ile amaç fonksiyonun ürettiği fayda değeri arasında bir ilişki ortaya çıkartılması

şeklindedir. 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 Ceyhan Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi

Ceyhan Havzası'nda, Ceyhan Nehri ana kolu üzerinde birbirine ardışık olarak bağlı çok barajlı bir sistem bulunmaktadır. Bu sisteme ait barajlar, sırasıyla, Menzelet, Kılavuzlu, Sır, Berke ve Aslantaş barajlarıdır. Bu barajlardan Menzelet ve Kılavuzlu, enerji ve sulama amaçlı, Sır ve Berke enerji amaçlı ve Aslantaş ise enerji, sulama, içme suyu ve taşkından koruma amaçlı olarak planlanmışlardır. Bu barajlara ait teknik ayrıntılar, Bölüm 4' de verilmektedir. Şekil 1.2'de, Ceyhan Havzasının görünüşü verilmiştir.



Şekil 1.2: Ceyhan Havzası'nın görünüşü

Burada, akım miktarı ve zaman boyutu, sırasıyla, uzun süreli işletme modelinde, 10^7 m^3 ve ay olarak alınmıştır.

2. SU KAYNAKLARINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU

2.1. Giriş

Su kaynakları sistemi, genellikle, yeraltı suyu ve yüzey suyu sistemleri şeklinde ele alınmaktadır. Bu sistemlerin birbiriyle etkileşim içerisinde kullanarak en iyi verimi sağlayabilmek zor ve karmaşık bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu süreçte, optimal çözümlere ulaşılabilmek için sistem konfigürasyonu, boyutlandırılması ve işletilmesinin planlaması birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca, sistemde bulunan bazı tesislerin inşaat halinde olmaları, planlama süreci içerine dahil edilmelidir. Su kaynaklarında sistem optimizasyonu için kullanılan teknikler,

1. Ampirik veya heuristik yaklaşımlar,
2. Matematiksel programlama yöntemleri
3. Benzetim yöntemleri

olarak sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerin her biri hem tek baraj ve tek amaçlı bir sistem için hem de çok barajlı ve çok amaçlı sistemler için uygulanabilir. Ampirik veya heuristik yaklaşımlardan kesin optimal çözümler elde edilememekle beraber, bazı durumlar için tecrübenin kullanımı ile oldukça güvenilir çözümlere ulaşılması mümkün olmaktadır. 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

olmuştur. Ancak sistemde enerji üretim fonksiyonu doğrusal olmadığından, 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 edileceği her zaman garanti edilemez. Ancak, benzetim yöntemi, matematiksel programlamaya dayanan optimal politikalar ile birlikte kullanıldığı zaman çok yararlı olabilmektedir. Böylece, sistemin deterministik yapıda bir optimizasyon modelinden elde edilen sonuçlar, sistemin bir benzetim modelinde türetilen akım serileri ile birlikte kullanılarak, akım serilerinin stokastik özelliğinden kaynaklanan riskler belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada, çok barajlı bir sistemde, dinamik programlama tekniğinin kullanıldığı uzun ve kısa süreli planlama ile gerçek zamanlı işletme optimizasyonu modelleri kurulmuştur. Buradan elde edilen sonuçları değerlendirmek amacıyla benzetim modeli tasarlanmıştır. Uzun süreli planlamada, aylık akımlar kullanılarak güvenilir gücün ve toplam enerjinin enbüyüklenmesi amaçlanmakta ve buradan aylık normal işletme seviyeleri belirlenmektedir. Kısa süreli planlamada ise, tasarım amaçlı taşkın hidrografı akım verileri kullanılarak barajlardan bırakılan akımın pik değerinin enküçüklenmesine çalışılmakta ve optimal taşkın kontrol seviyeleri elde edilmektedir.. Daha sonra, kısa ve uzun süreli planlamadan elde edilen optimal politikalar taşkın oluşma ihtimali içeren gerçek zamanlı işletme optimizasyonunda bütünleştirilerek optimal çözüm aranmaktadır. Buradan elde edilen optimal sonuçlar, benzetim modeli ile yapılan işletmeye göre değerlendirilmektedir.

2.2. Dinamik Programlama

Baraj işletmesinde çok sayıda optimizasyon yöntemi 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 bulmuştur. Dinamik programlama optimizasyon modelini geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalar, genelde bilgisayarda bellek ve zaman

kullanımını azaltmaya, çok baraj, çok amaç ve çok kısıtı işleme dahil etmeye yönelik olmuştur. Böylelikle, dinamik programlama üzerine farklı yaklaşımlarla değişik çözüm alternatifleri üretilmiştir.

Dinamik programlama, (DP: Dynamic programming), ilk olarak BELLMAN (1957) tarafından geliştirilmiş 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.

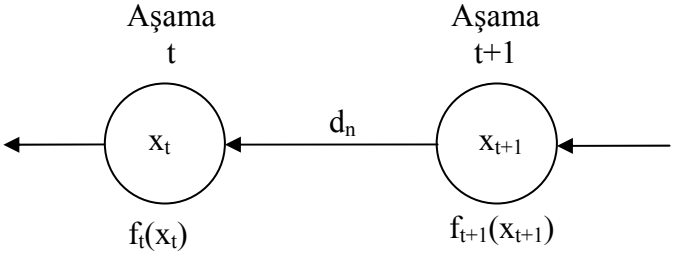
Dinamik programlamada üç değişken tipi vardır. Bunlar;

1. Sistemin davranışını olduğu gibi tanımlayan ve sistemin herhangi bir andaki durumunu gösteren durum (state) değişkenleri, ((x), sistemde barajın işletme seviyesidir.)

2. Seçilen bir amaca göre sistemin kontrol edilebilir girdileri hakkında karar vermeyi sağlayan karar değişkenleri, ((d), sistemde barajdan enerji üretimi için bırakılan su miktarıdır.)
3. Bu kararların verildikleri aralıkları belirleyen aşama (stage) değişkenleri, ((t), sistemde zamanı göstermektedir.)

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

Dinamik programlamada aşamalar arası ilişki Şekil 2.1' de gibi 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;

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

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;

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

şeklindedir. Burada,

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

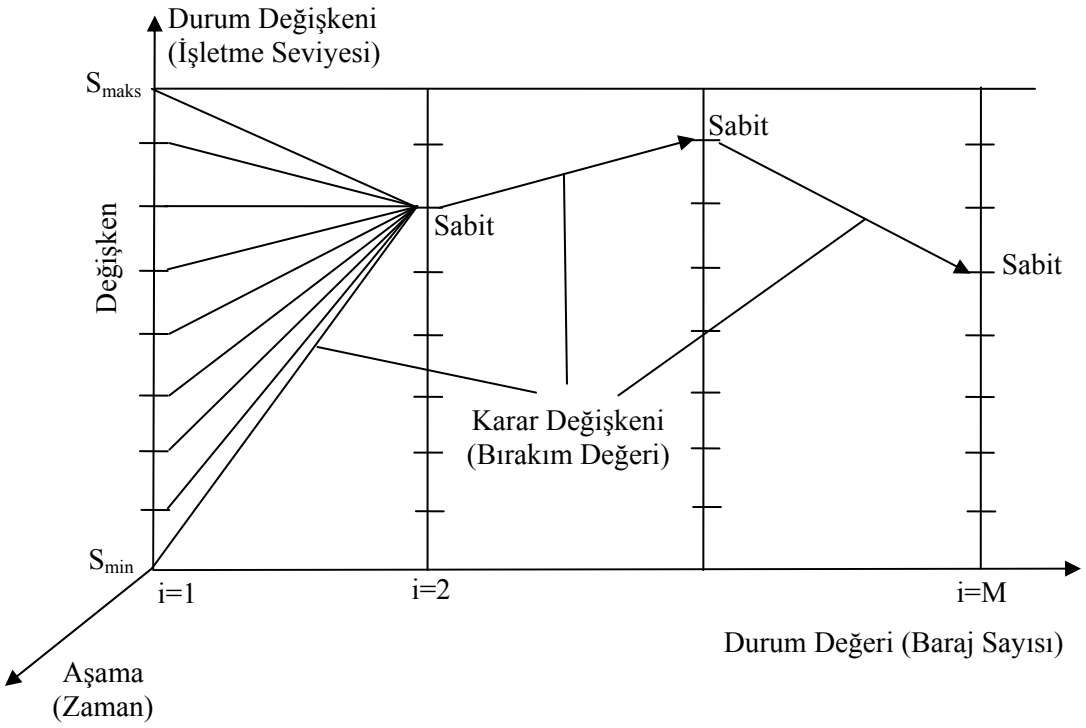
$F_{i,t}$: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım miktarı

$Q_{i,t}$: 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

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) 'un 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.

DPSA Korea'da, Han Havzası'nda, gerçek-zamanlı taşkın kontrol işletmeleri için Shim ve diğ. (2002) tarafından uygulanmıştır. Ayrıca, DPSA Lower Colorado Nehir Baraj Sistemi'nde saatlik optimal hidrogüç birimlerinin planlanmasına yardımcı olması amacıyla Yi ve diğ. (2003) tarafından da uygulanmıştır.

Jacobson ve Mayne (1970) DP' deki boyutsallık problemini hafifletmek amacıyla DDP' yi geliştirmişlerdir. Muray ve Yakowitz (1979) daha gerçek kısıtlı problemler için bu yaklaşımı genişletmişlerdir. Ancak, amaç fonksiyonu ve kısıtların diferansiyel olabilirliğine hala gerek duyulmaktadır. Sen ve Yakowitz (1987) DPSA ve IDP tekniklerinin çözüme yakınsama açısından DDP ile bazı durumlarda eşdeğer olduğunu iddia etmişlerdir.

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: Stochastic Dynamic Programming) 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,

$$R = 2.3^m + t.m.3^m \qquad (2.3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Yineleme başına düşen bilgisayar zamanı;

$$T_E = T_a.t.3^{2.m} \qquad (2.4)$$

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

2.4.1.MATLAB 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.

2.4.2.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.

2.4.3.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.

2.4.4.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.

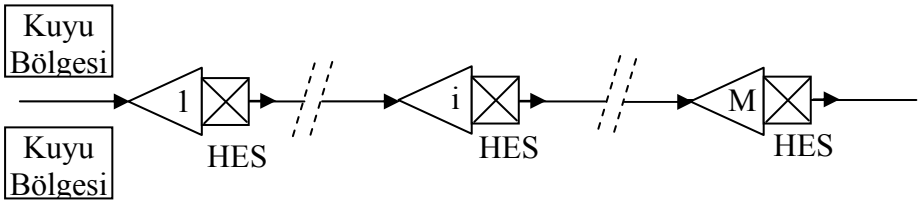
2.4.5.MATLAB uygulama programı arabirimi

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

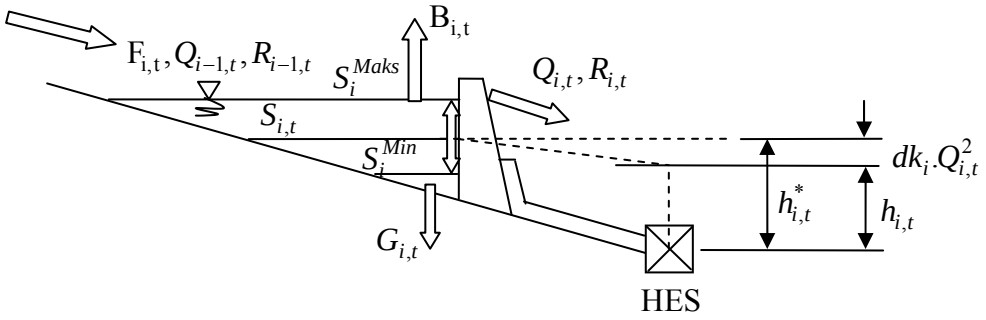
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

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,

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

$$Y_{i,t} = Q_{i,t} + R_{i,t} + B_{i,t} + G_{i,t} \tag{3.5}$$

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

$G_{i,t}$: i-barajından t-zamanda kuyulardan çekilen su miktarı

olarak tanımlanabilir. Eğer Δt=1 birim (ay veya saat) olarak alındığında, su dengesi ilişkisi,

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

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

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

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

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

olmaktadır. Burada,

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

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

göstermektedir.

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

$$W_{i,t} \le (Q_{i,t} + R_{i,t}) \le W_i^{Maks} \tag{3.11}$$

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.

Akifer kalınlığı *H* olan yeraltı suyunda *d (=2r)* çaplı bir kuyudan çekilecek debi Q_{kuyu} olduğuna gore, Q_{kuyu} , *H*'ın bir fonksiyonu olup

$$Q_{kuyu} = \pi K \frac{H^2 - h^2}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \tag{3.12}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada *K*, hidrolik geçirgenlik katsayısını göstermekte olup,

$$K = 0{,}01154.d_{10}^2 \tag{3.13}$$

ifade edilmektedir. Burada, d_{10}, elek analizinde malzemenin %10' nun geçtiği dane çapını göstermektedir. *R* ise, kuyunun etki yarıçapını göstermekte olup,

$$R = 3000(H - h)\sqrt{K} \tag{3.14}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Gözeneklerin tıkanmaması için gerekli olan debi ise,

$$Q_k = 2\pi r h \frac{\sqrt{K}}{30} \tag{3.15}$$

ile gösterilirse, kuyudan çekilebilecek en büyük debi, kuyu gözeneklerinin tıkanmaması için gerekli olan debi ile sınırlanmıştır. Yani,

$$O_{optimum} = Q_{kuyu}^{Maks} \leq Q_k \tag{3.16}$$

olmaktadır. Buradan her *H* değerine ait $Q_{Optimum}$ değeri elde edilerek, *H*-$Q_{Optimum}$ değişimi Şekil 3.3' de gösterilmektedir. Burada, akifer kalınlığı arttığı zaman, çekilebilecek debi artmaktadır. Herhangi bir i-barajı için açılacak kuyu sayısı k_s ise, i-barajında t-zamanda (ay olarak) kuyulardan çekilebilecek akım miktarı;

$$G_{i,t} = k_s.Q_{Optimum}.T \tag{3.17}$$

şeklindedir. Kuyulardan çekilecek sulama-içme suyu miktarı

$$G_{i,t}^{Min} \le G_{i,t} \le G_{i,t}^{Maks} \tag{3.18}$$

Olmalıdır. Burada;

$G_{i,t}^{Min}$: Kuyulardan çekilecek minimum sulama-içme suyu miktarını,

$G_{i,t}^{Maks}$: Kuyulardan çekilecek maksimum sulama-içme suyu miktarını

göstermektedir. *T*, bir ay için saniye olarak zamanı alınırsa,

*T=30 gün*24 saat x 3600 saniye =2.592.000 saniye*

şeklindedir. k_s (kuyu sayısı) değerleri ise,

$$k_s^{Min,Maks} = \frac{G_{i,t}^{Min,Maks}}{T.Q_{Optimum}} \tag{3.19}$$

şeklinde belirlenmiştir.

Her bir barajda enerji üretimi için bırakılan akımdan elde edilen güç hidroelektrik santral kurulu gücünü aşmaması gerekmektedir. Yani, t-zamanda i-barajında elde edilen ortalama güç

$$P_{i,t} = k_i.Q_{i,t}.h_{i,t} \tag{3.20}$$

olmakla birlikte, bu değer,

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

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,

$$h_{i,t}^{*} = h\left(\frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2}\right) \tag{3.21}$$

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

$$h_{i,t} = h_{i,t}^{*} - (h_f)_{i,t} \tag{3.22}$$

olmakta ve buradan

$$h_{i,t} = h_{i,t}^{*} - dk_i.Q_{i,t}^{2}.l_i \tag{3.23}$$

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 ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek güvenilir güç değerlerini enbüyükleyecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri($S_{i,t}^{Min}$) belirlenmektedir. Buradan elde edilen güvenilir güç değerleri, modelde kısıt olarak (aynı zamanda parametrik değişken de) kullanılıp, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı 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,

$$Max.(\min.\sum_{i=1}^{M} P_{i,t}) \tag{3.24}$$

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

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

$$Max.\sum_{t=1}^{KM}\left[(\sum_{i=1}^{M} P_{i,t} - P_G).p_s + P_G.p_G \right], \text{(KM=12 ay)} \tag{3.25}$$

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

$$\sum_{i=1}^{M} P_{i,t} \geq P_G \tag{3.26}$$

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' de 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 sistemlerde barajlar birçok amaca hizmet etmektedir. Optimizasyon çalışmalarında aşağıda verildiği gibi çeşitli amaçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bunlar:

1. Enerji faydası ile sulama-içme suyu faydasının enbüyüklenmesi.
2. Enerji faydası enbüyüklenirken taşkın zararının enküçüklenmesi
3.Enerji ve sulama faydası enbüyüklenirken, taşkın zararının enküçüklenmesi

şeklinde olabilir. Ancak optimizasyon teknikleri içerisinde genelde amaç fonksiyonunda tek amacın fayda değeri gözetildiği için birden fazla amacın fayda değerlerinin amaç fonksiyonunda kullanılması ya hedef programlama optimizasyon tekniği ile yada parametrik değişken yaklaşımı ile mümkün olmaktadır.

Parametrik değişkenin herhangi bir optimizasyon yapısında kullanılması kısaca aşağıda verilmektedir. Bunlar;

1.Parametrik değişkenin alt ve üst sınırları arasında herhangi bir değer atanması.

2.Atanan bu değere karşılık fayda değerinin bilinmesi. (Örneğin: Parametrik değişken olarak kabul edilen kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık gelen sulama-içme suyu faydasının bilinmesi gibi)

3.Optimizasyon yapısı içerisinde yapısal denklemlerin içerisine parametrik değişken olarak konulan değişkenin herhangi bir değerine karşılık amaç fonksiyonunun ürettiği değerin belirlenmesi.

4. Parametrik değişken faydası ile amaç fonksiyonun ürettiği fayda değeri arasında bir ilişki ortaya çıkartılması

şeklindedir.

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.

1. Enerji üretimi: Kurak Dönemlerde farklı sulama değerlerine karşılık güvenilir güç parametrik olarak değişebilir. Bu çalışmada toplam enerjinin enbüyüklenmesi için optimizasyon modelinde güvenilir güç parametrik değişken ve kısıt olarak kullanılmıştır.
2. Sulama-İçme suyu miktarı (kuyulardan çekilen): Minimum ve maksimum sulama miktarları arasında sulama suyu parametrik olarak değiştirilebilir. Bu çalışmada kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik değişken olarak kullanılmıştır.

3. 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.
4. Kirlilik Kontrolü ve Ulaşım: Kirlilik kontrolü ve ulaşım, mansapta minimum ve maksimum bırakım miktarı arasında değerler atanarak parametrik değişken olarak kullanılabilirler.

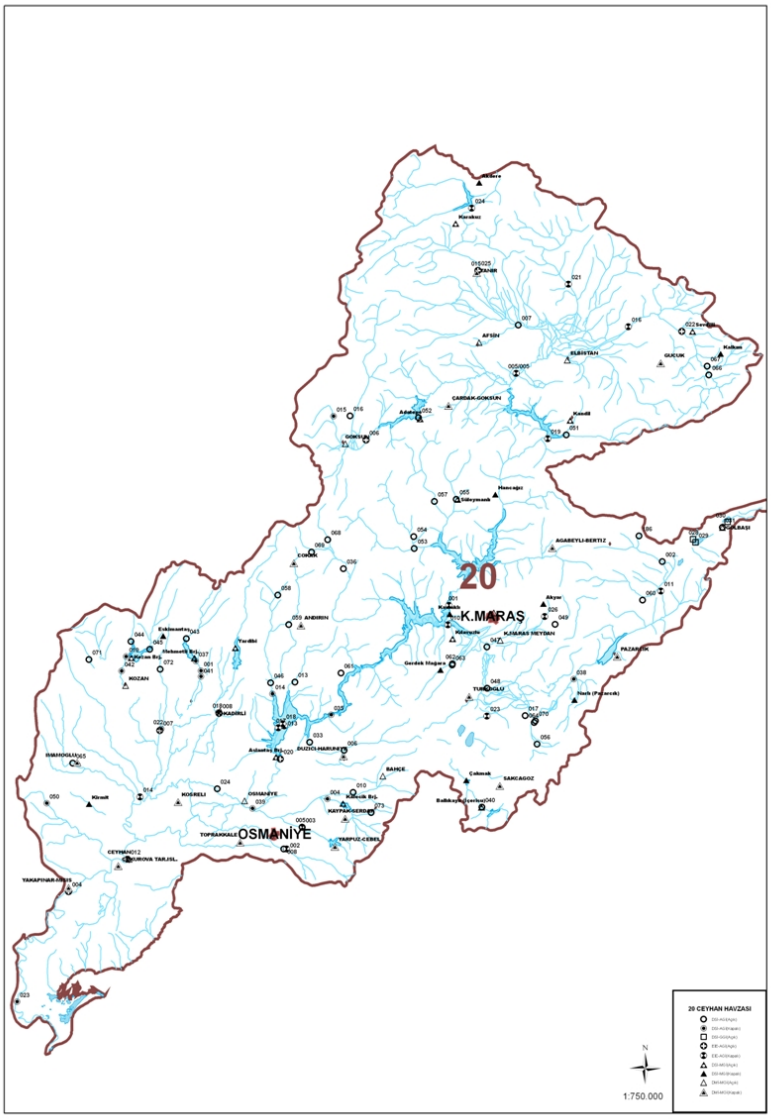
4. CEYHAN HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ

4.1. Giriş

Ülkemizin Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Ceyhan Havzası, batıda Seyhan, doğuda Asi ve Fırat, kuzeyde Kızılırmak havzaları, güneyde ise Akdeniz ile çevrili konumda bulunmaktadır.

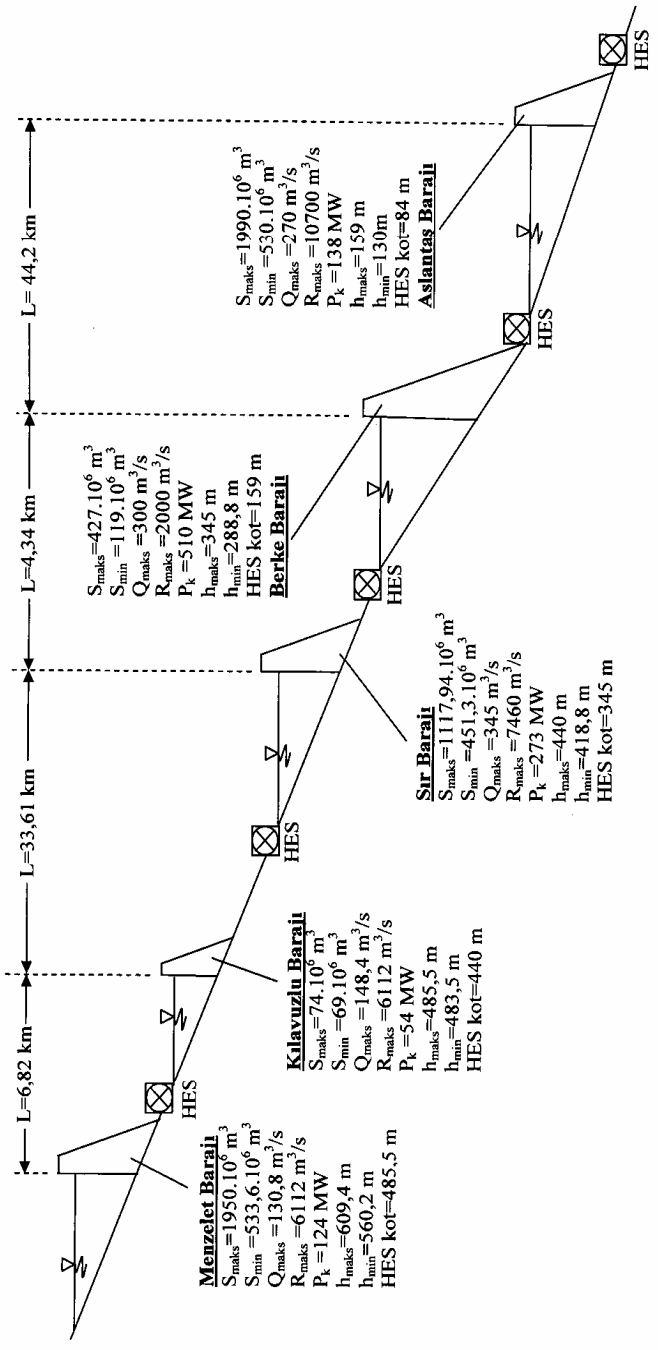
Ceyhan havzasının güneybatı kısımlarında tipik Akdeniz iklimi, memba kısımlarında ise karasal iklim hakimdir. Havzanın kuzeyinde, Afşin-Elbistan ovaları kesiminde, yıllık ortalama yağış 400-700 mm iken, Orta Ceyhan Kahramanmaraş-Narlı ovaları kesiminde 700-1000 mm ve Ceyhan ovasının güneyinde 1000-2000 mm olmak üzere membadan mansaba doğru artmaktadır. Ceyhan Nehri'nin mansapta yıllık ortalama akımı 7,180 milyar m^3 olarak belirlenmiştir. Ülkemizde bulunan 26 havzanın toplam ortalama yıllık akımı 186 milyar m^3 olduğuna göre, Ceyhan Nehri bu su potansiyelinin yaklaşık % 4' ünü karşılamaktadır.

Ceyhan Nehri, membasında, Afşin-Elbistan ovası sularını toplamaktadır. Bu ova, batıda Göksun Çayı, kuzeybatıdan Human Çayı, kuzeyde Sarsap Çayı ve kuzey batıdan Söğütlü Çayı kollarıyla beslenmektedir. Göksun Çayı, kuzeyde, Binboğa ve Işık Dağları arasından doğmakta, Göksun İlçesi içerisinde güneyden gelen Çınar, Pınar Dağından doğan Tokatfere kolunu alarak batıya yönelmekte, diğer yan kolları ile birleştikten sonra Elbistan ovasına ulaşmaktadır. Human Çayı, kuzeyde Tahtalı Dağları'ndan doğmaktadır. Birçok yan kol ile birleştikten sonra Elbistan ovasına ulaşmaktadır. Söğütlü Çayı, kuzeydoğusundaki Nurhak Dağı'ndan doğmakta, bir çok kol ile birleşerek kuzeyden gelen Sarsap suyunu almaktadır. Human Çayı ile Söğütlü Çayı birleştikten sonra Ceyhan Nehri adını almaktadır. Ceyhan 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: Ceyhan Havzası'nın şematik görünüşü

Ceyhan Nehri ana kolu ve tali kolları üzerinde birçok baraj bulunmaktadır. Ana kolu üzerinde birbirine seri olarak bağlı bulunan barajlar, sırasıyla, Menzelet, Kılavuzlu, Sır, Berke ve Aslantaş barajlarıdır. Bu barajlardan Menzelet ve Kılavuzlu, enerji ve sulama amaçlı, Sır ve Berke enerji amaçlı ve Aslantaş ise enerji, sulama, içmesuyu ve taşkından koruma amaçlı olarak planlanmışlardır. Şekil 4.2'de, Ceyhan Havzası'nda Ceyhan Nehri 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: Ceyhan Havzası'nda Ceyhan Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü

Tablo 4.1: Ceyhan Havzası' nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağlı bulunan barajlara ait veriler [Akbulut, 2003]

Barajlar	**Menzelet**	**Kılavuzlu**	**Sır**	**Berke**	**Aslantaş**
Yağış Alanı (km^2)	8340	8486	12950	13222	14874
Amaç	Sul.+En.	Sul.+En.	Enerji	Enerji	Sul.+Taş.+En
Kurulu Güç (MW)	124	54	273	510	138
Baraj Yüksekliği (m)	150,5	56	120	201	95
Maksimum işletme seviyesi (m)	609,4	485,5	440	345	159
Minimum işletme seviyesi (m)	560,2	483,5	418,8	288,8	130
Maksimum Hacim (10^6 m^3)	1950	74	1117,94	427	1990
Minimum Hacim (10^6 m^3)	533,6	69	451,3	119	530
Kuyruksuyu kotu (m)	485,5	440	345	159	84
Dolu Savak Kapasitesi(m^3/s)	6112	6112	7460	2000	10700
Enerji Üretimi Kapasitesi (m^3/s)	130,8	148,4	114,25	300	270
Aylık Maksimum Akım(m^3/s)	497.43	508.27	782.57	799.07	898.74
Aylık Minimum Akım(m^3/s)	0	9.02	19.05	19.39	19.65
Aylık Ortalama Akım(m^3/s)	65.94	76.09	119.65	122.26	136.69

Barajlara ait resimler, sırasıyla, Şekil 4.3, 4, 5, 6 ve 7' da gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Menzelet Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.4: Kılavuzlu Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.5: Sır Barajı'nın görüntüsü

Ceyhan Nehri'nin ana kolunun uzunluğu 510 km' dir. Burada, baraj aksından baraj aksına mesafeleri belirlemek için Google Earth Programı'nda baraj aks yerlerinin koordinatları alınmıştır. Bu koordinatlar, Ceyhan Nehri'nin koordinatlarının işlenebildiği bir GPS tabanlı programda işlenerek barajlar arası mesafeler metre boyutunda belirlenmiştir. Bu belirlenen değerler, Tablo 4.2' de gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Berke Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.7: Aslantaş Barajı'nın görüntüsü

Tablo 4.2: Baraj aksından aksına Ceyhan Nehri'nin uzunluğu

Barajlar	**Uzaklık (m)**
Menzelet-Kılavuzlu	6820
Kılavuzku-Sır	33610
Sır-Berke	4340
Berke-Aslantaş	44200

4.2. Buharlaşma Değerleri

Ceyhan Havzası'nda, Ceyhan Nehri üzerinde bulunan sistemin incelenmesinde, aylık dönemlerde barajlarda oluşacak buharlaşma kayıpları sisteme ait barajların işletilmesi esnasında göz önüne alınmaktadır. Ceyhan Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) olarak Tablo 4.3' de verildiği gibidir. Bu değerler Çukurova Elektrik AŞ tarafından hazırlanan Berke Barajı ve Hidroelektrik Enerji Santrali Fizibilite Raporu'ndan alınmıştır.

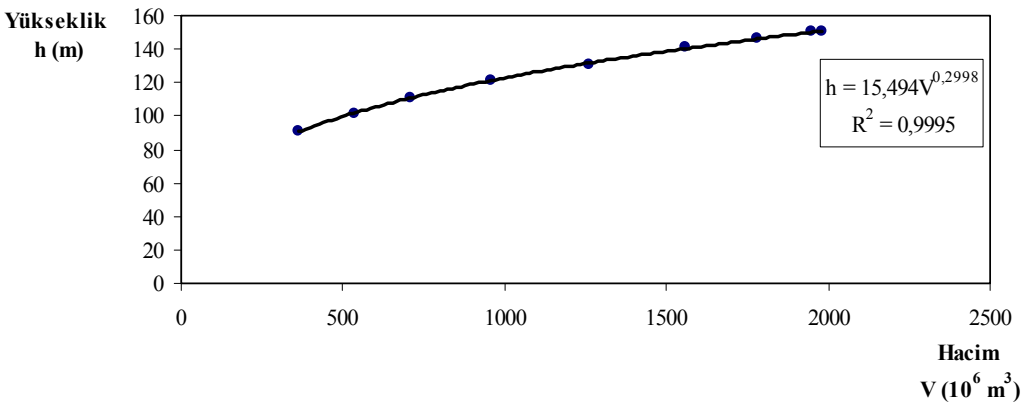
Herhangi bir baraja ait buharlaşma değeri, işletme esnasında barajın işletme seviyesini doğrudan etkilemektedir. Burada, herhangi bir barajda gölet yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma miktarı dönem sonuna ait işletme seviyesinden düşülmesi öngörüldüğü için uzun süreli işletme modeline göre yazılan bilgisayar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

Tablo 4.3: Ceyhan Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Akbulut, 2003]

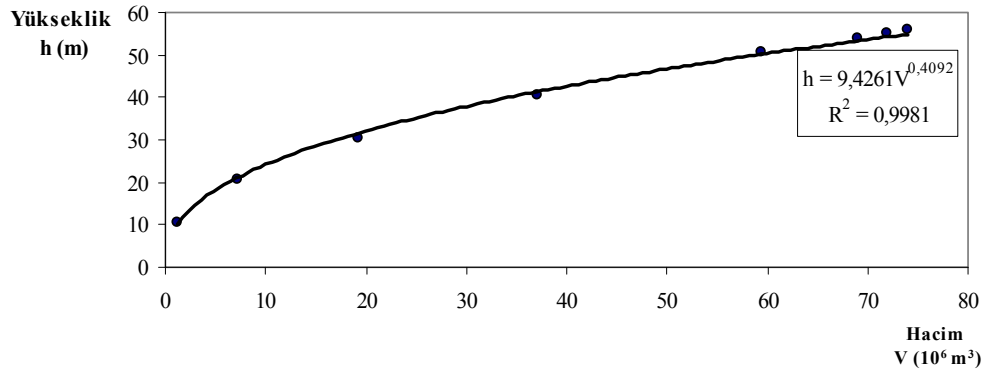
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
48	10.4	30.3	82.7	132.8	197	242.7	227.6	157.7	89	34.9	11.1

4.3. Yükseklik-Hacim İlişkileri

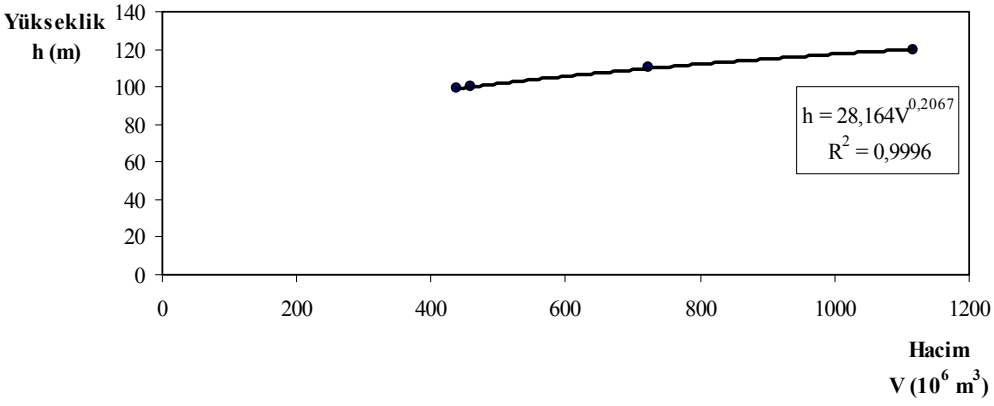
Enerji üretimi, barajdaki su yüksekliğine ve türbinden çıkan akıma bağlı olarak elde edilmektedir. Bu nedenle, barajda işletme seviyesine gelen su yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Buradan, Ceyhan Havzası'nda, Ceyhan Nehri'nin ana kolu üzerinde bulunan çok barajlı su kaynakları sisteminde barajlara ait hacim(depolamış su miktarı) yükseklik eğrileri çizilmiştir. Bu eğriler için $h=a.V^n$ şeklinde tanımlanan denklemin regresyon analizi yapılarak a ve n katsayıları ile R^2 regresyon katsayısının değerleri belirlenip, grafik üzerine işlenmiştir. Menzelet, Kılavuzlu, Sır, Berke ve Aslantaş barajlarına ait yükseklik hacim eğrileri ve denklemleri, sırasıyla, Şekil 4.8, 9, 10, 11 ve 12'de gösterilmektedir.



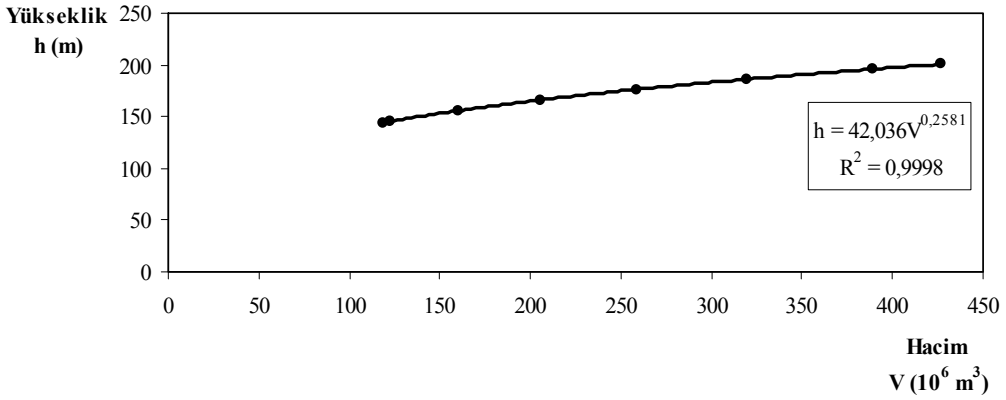
Şekil 4.8: Menzelet Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



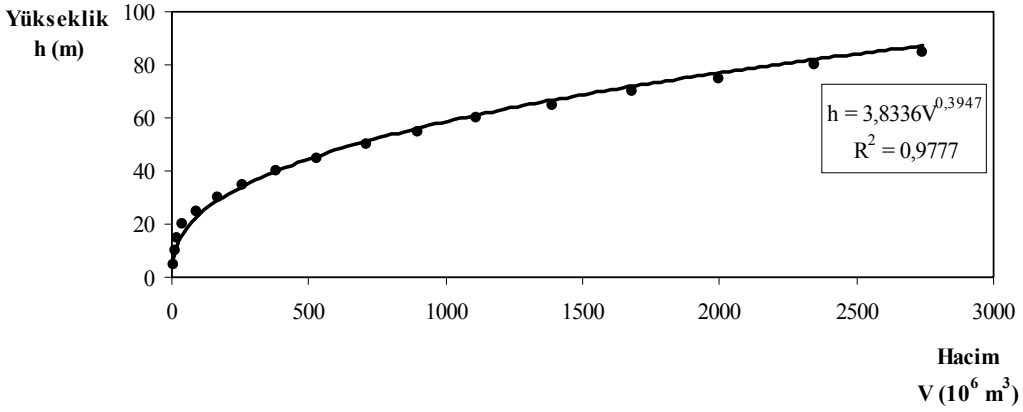
Şekil 4.9: Kılavuzlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.10: Sır Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.11: Berke Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.12: Aslantaş Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

Uzun süreli işletmede, barajlardaki su miktarları 10^7 m^3 olarak alındığı için, barajların yükseklik hacim denklemleri ve regresyon değerleri Tablo 4.4'de gösterilmektedir.

Tablo 4.4: 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**
Menzelet	30.898	0.2998	0.9995
Kılavuzlu	24.182	0.4092	0.9981
Sır	45.328	0.2067	0.9996
Berke	76.157	0.2581	0.9998
Aslantaş	9.5129	0.3947	0.9777

4.4. Yükseklik-Alan İlişkileri

Barajın gölet yüzeyinin alanı su yüksekliğinin artması ile artar, azalması ile de azalmaktadır. Uzun süreli işletmede, gölet yüzey alanında olan buharlaşma miktarlarının belirlenebilmesi için değişik yüksekliklere ait göl alanlarının bilinmesi gerekmektedir. Bunu belirlemek için, bir önceki bölümde uzun süreli işletme için elde edilen hacim yükseklik denkleminde hacmin yüksekliğe göre türevinden, alan yükseklik denklemi elde edilmektedir. Bu denklemler, $A=b.h^m$ şeklinde elde edilmekte olup, b ve m katsayılarının değerleri her bir baraj için Tablo 4.5' de gösterilmektedir.

Tablo 4.5: 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**
Menzelet	0.00036	2,3355
Kılavuzlu	0.01016	1,4438
Sır	$4.689.10^{-7}$	3,8379
Berke	$1.984.10^{-6}$	2,8745
Aslantaş	0.084164	1,5336

4.5. Barajlara gelen akımlar

1973'den 2000 tarihine kadar olan akım gözlem değerleri baraj akslarına taşınmış değerler olarak m^3/s boyutunda düzenlemiştir[]. Menzelet, Kılavuzlu, Sır, Berke ve Aslantaş barajlarının aksına taşınmış akım gözlem değerleri, sırasıyla, Tablo 4.6, 7, 8, 9 ve 10' da gösterilmektedir.

Bu akım gözlem değerleri kullanılarak 1973-2000 yıllarına göre aylık ortalama akımlar elde edilmiştir. Her bir barajdaki aylık ortalama akım değerleri, Tablo 4.11' de ve Şekil 4.13' da gösterilmektedir.

Tablo 4.6: Menzelet Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s) [Akbulut, 2003]

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	22,48	26,70	19,30	13,40	29,48	70,69	106,90	58,50	18,99	0,00	0,00	0,23	435,68
2	1974	7,96	12,94	27,38	18,00	27,42	135,28	115,48	58,18	20,03	2,45	1,88	8,68	930,88
3	1975	12,25	12,97	42,31	53,89	51,81	149,47	311,86	189,60	61,27	21,23	11,96	12,26	957,28
4	1976	17,52	18,45	19,31	46,00	43,51	113,62	311,86	227,31	97,53	31,31	15,28	15,58	1219,56
5	1977	38,87	47,20	116,98	56,13	128,28	213,31	260,54	205,65	85,57	31,69	16,59	18,75	923,86
6	1978	25,81	23,97	31,86	81,89	131,58	147,23	205,37	152,26	69,70	24,59	14,09	15,51	872,85
7	1979	26,55	29,83	69,94	175,60	138,20	120,34	122,04	89,91	55,48	20,86	11,14	12,96	1739,62
8	1980	21,81	49,90	76,66	67,70	76,24	257,74	497,43	436,01	160,81	45,13	25,74	24,45	1212,14
9	1981	32,53	30,99	46,05	72,93	121,66	312,62	242,41	180,26	102,16	35,05	16,81	18,67	911,70
10	1982	25,06	30,61	119,22	125,20	66,69	98,32	196,11	147,04	53,55	20,11	13,94	15,85	665,47
11	1983	23,19	21,42	19,99	24,39	31,97	112,50	201,90	139,57	52,40	16,23	9,61	12,30	780,17
12	1984	20,02	59,93	71,81	56,50	79,83	121,46	167,95	128,74	44,68	12,35	7,18	9,72	406,73
13	1985	14,87	17,49	17,37	33,73	58,83	69,19	127,44	52,95	14,86	0,00	0,00	0,00	439,52
14	1986	18,82	21,27	27,38	81,52	58,01	75,54	73,04	50,34	32,33	0,00	0,00	1,27	1066,29
15	1987	10,98	26,75	37,83	104,29	125,80	137,52	277,52	203,41	91,75	24,97	11,55	13,92	1174,50
16	1988	19,53	39,09	86,37	65,09	83,82	201,74	314,94	214,99	87,12	32,06	13,94	15,81	427,49
17	1989	37,38	51,44	68,45	42,69	36,51	81,89	60,70	28,68	7,99	0,00	0,00	11,76	439,52
18	1990	18,82	21,27	27,38	81,52	58,01	75,54	73,04	50,34	32,33	0,00	0,00	1,27	492,65
19	1991	11,04	21,58	29,02	16,72	36,36	100,40	145,28	83,91	42,75	5,59	0,00	0,00	684,13
20	1992	3,17	18,51	36,19	32,60	35,68	96,87	198,50	158,83	61,58	15,31	9,91	16,98	971,43
21	1993	33,11	54,72	82,77	41,06	39,19	104,82	239,58	243,56	71,24	15,85	2,46	43,07	391,01
22	1994	18,25	21,28	22,32	45,95	54,88	73,26	96,50	52,92	1,23	0,00	0,00	4,42	723,77
23	1995	10,03	34,75	39,03	85,08	63,84	92,44	202,38	136,91	48,79	4,57	0,00	5,95	1210,43
24	1996	21,48	77,61	42,75	98,72	84,20	221,56	314,18	248,27	68,12	18,64	2,73	12,17	687,18
25	1997	45,47	30,35	71,00	77,08	50,01	46,31	186,70	133,68	37,25	0,07	0,00	9,26	682,17
26	1998	21,17	39,66	49,39	33,05	42,00	92,53	214,30	137,01	42,59	0,57	0,00	9,90	679,45
27	1999	9,29	33,10	112,42	61,64	109,23	104,98	144,54	76,12	23,94	0,00	0,00	4,19	662,99
28	2000	11,22	12,48	13,64	43,68	47,27	107,53	252,41	134,17	25,69	2,48	9,32	3,10	435,68

Tablo 4.7: Kılavuzlu Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s) [Akbulut, 2003]

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	32,93	37,60	29,70	23,88	41,34	81,08	117,84	68,78	25,66	10,31	9,02	10,74	488,88
2	1974	18,41	23,78	37,77	28,40	39,28	145,67	126,33	68,40	26,70	12,77	10,90	19,19	557,60
3	1975	22,70	23,82	52,70	64,28	63,66	159,86	322,70	199,83	67,95	31,55	20,98	22,77	1052,80
4	1976	27,97	29,30	29,70	56,44	55,37	124,01	322,70	237,53	104,21	41,63	24,31	26,09	1079,26
5	1977	49,32	58,04	127,38	66,52	140,14	223,70	271,39	215,88	92,25	42,00	25,61	29,26	1341,49
6	1978	36,26	34,82	42,25	92,28	143,44	157,62	216,22	162,49	76,43	34,91	23,11	26,01	1045,84
7	1979	37,00	40,68	80,33	185,99	150,06	130,74	132,89	100,14	62,16	31,17	20,16	23,47	994,79
8	1980	32,26	60,74	87,05	78,09	88,10	268,13	508,27	446,24	167,48	55,44	34,76	35,00	1861,56
9	1981	42,98	41,84	56,44	83,32	133,52	323,01	253,26	190,49	108,84	45,36	25,84	29,18	1334,08
10	1982	35,51	41,45	129,62	135,59	78,55	108,71	206,96	157,26	60,23	30,43	22,96	26,36	1033,63
11	1983	33,64	32,27	30,38	34,78	43,82	122,89	212,75	149,80	59,07	26,54	18,63	22,81	787,38
12	1984	30,47	70,77	82,20	66,89	91,69	131,86	178,80	138,97	51,36	22,66	16,20	20,23	902,10
13	1985	25,32	28,34	27,76	44,12	70,69	79,59	138,29	63,18	21,53	10,31	9,02	10,51	528,66
14	1986	29,27	32,12	37,77	91,91	69,86	85,93	83,89	60,56	39,01	10,31	9,02	11,78	561,43
15	1987	21,43	37,60	48,22	114,68	137,66	147,91	288,37	213,64	98,43	35,28	20,57	24,43	1188,22
16	1988	29,98	49,94	96,76	75,48	95,68	212,13	325,79	225,21	93,80	42,37	22,96	26,32	1296,42
17	1989	47,83	62,29	78,84	53,08	48,37	92,28	71,55	38,91	14,67	10,31	9,02	22,27	549,42
18	1990	29,27	32,12	37,77	91,91	69,86	85,93	83,89	60,56	39,01	10,31	9,02	11,78	561,43
19	1991	21,49	32,43	39,42	27,11	48,22	110,79	156,13	94,14	49,42	15,91	9,02	10,51	614,59
20	1992	13,62	29,35	46,58	42,99	47,54	107,26	209,35	169,05	68,26	25,62	18,94	27,49	806,05
21	1993	43,56	65,57	93,16	51,45	51,04	115,21	250,43	253,79	77,92	26,16	11,48	53,58	1093,35
22	1994	28,70	32,12	32,71	56,34	66,74	83,65	107,35	63,15	7,91	10,31	9,02	14,93	512,93
23	1995	20,48	45,59	49,43	95,48	75,70	102,83	213,22	147,13	55,47	14,88	9,02	16,46	845,69
24	1996	31,93	88,46	53,14	109,11	96,06	231,95	325,03	258,49	74,79	28,95	11,75	22,68	1332,34
25	1997	55,92	41,20	81,39	87,47	61,87	56,70	197,55	143,91	43,93	10,38	9,02	19,76	809,10
26	1998	31,62	50,50	59,78	43,44	53,86	102,92	225,15	147,24	49,27	10,89	9,02	20,40	804,09
27	1999	19,73	43,95	122,81	72,03	121,08	115,37	155,39	86,35	30,62	10,31	9,02	14,69	801,35
28	2000	21,67	23,32	24,03	54,07	59,12	117,93	263,25	144,39	32,36	12,79	18,34	13,61	784,88

Tablo 4.8: Sır Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s) [Akbulut, 2003]

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	52,37	59,52	47,4	38,45	65,28	126,32	182,8	107,76	43,43	21,35	19,05	19,24	782,96
2	1974	30,06	38,3	59,79	45,39	62,1	225,54	195,83	107,18	45,03	25,12	21,93	32,22	888,51
3	1975	36,66	38,36	82,73	100,51	105,55	247,34	497,5	309,07	108,38	53,97	37,42	37,73	1655,22
4	1976	44,74	46,78	47,4	88,47	86,83	192,28	497,5	367	164,09	69,45	42,52	42,83	1689,89
5	1977	77,55	90,93	197,44	112,22	217,04	345,41	418,68	333,73	145,72	70,03	44,53	47,69	2100,97
6	1978	57,48	55,26	66,67	143,53	222,12	243,9	333,92	251,72	121,42	59,13	40,69	42,71	1638,54
7	1979	58,62	64,26	125,17	287,49	232,28	202,6	205,91	155,93	99,49	53,39	36,16	38,8	1560,12
8	1980	51,34	95,08	135,5	121,73	137,1	413,67	782,57	687,61	261,29	90,67	58,58	56,52	2891,66
9	1981	67,8	66,04	88,47	129,76	206,88	497,98	390,82	294,73	171,21	75,19	44,87	47,57	2081,32
10	1982	56,33	65,45	200,88	210,06	122,43	168,76	319,7	243,69	96,53	52,25	40,46	43,24	1619,77
11	1983	53,46	51,34	48,43	55,2	69,09	190,56	328,59	232,22	94,75	46,28	33,8	37,79	1241,52
12	1984	48,59	110,49	128,04	104,53	142,62	204,32	276,44	215,58	82,9	40,32	30,08	33,82	1417,71
13	1985	40,67	45,3	44,42	69,54	110,36	124,03	214,21	99,15	37,09	21,35	19,05	18,89	844,05
14	1986	46,75	51,11	59,79	142,95	109,09	133,78	130,64	95,14	63,93	21,35	19,05	20,84	894,42
15	1987	34,71	59,52	75,85	177,94	213,23	231,07	444,75	330,29	155,2	59,7	36,79	40,28	1859,33
16	1988	47,84	78,49	150,41	117,72	148,75	327,63	502,24	348,07	148,09	70,6	40,46	43,18	2023,48
17	1989	75,26	97,45	122,88	83,31	76,07	143,53	111,68	61,87	26,54	21,35	19,05	36,96	875,94
18	1990	46,75	51,11	67,64	142,95	112,8	133,78	130,64	95,14	63,93	21,35	19,05	20,84	905,98
19	1991	34,79	51,59	62,32	43,42	75,85	171,97	241,61	146,72	79,93	29,94	19,05	18,89	976,06
20	1992	22,7	46,86	73,32	67,81	74,8	166,54	323,37	261,8	108,86	44,86	34,27	44,98	1270,18
21	1993	68,69	102,49	144,88	80,8	80,18	178,76	386,47	391,96	123,7	45,7	22,82	85,05	1711,51
22	1994	45,87	51,12	52,02	88,31	104,29	130,28	166,68	99,11	16,15	21,35	19,05	25,67	819,9
23	1995	33,24	71,81	77,7	148,44	118,06	159,74	329,32	228,13	89,22	28,36	19,05	28,03	1331,09
24	1996	50,83	137,66	83,4	169,38	149,34	358,08	501,07	399,2	118,9	49,98	23,24	37,59	2078,66
25	1997	87,68	65,06	126,8	136,15	96,81	88,87	305,24	223,17	71,49	21,45	19,05	33,11	1274,88
26	1998	50,35	79,35	93,61	68,5	84,51	159,87	347,63	228,29	79,69	22,23	19,05	34,09	1267,16
27	1999	32,1	69,28	190,43	112,42	187,78	179	240,48	134,75	51,04	21,35	19,05	25,32	1262,99
28	2000	35,06	37,6	38,68	84,83	92,59	182,92	406,18	223,92	53,72	25,15	33,36	23,65	1237,67

Tablo 4.9: Berke Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s) [Akbulut, 2003]

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	53,54	60,84	48,47	39,33	66,72	129,04	186,7	110,1	44,5	22,01	19,65	19,75	800,66
2	1974	30,76	39,18	61,11	46,42	63,48	230,35	200,02	109,52	46,13	25,86	22,6	33	908,42
3	1975	37,5	39,24	84,54	102,69	107,71	252,6	508,02	315,64	110,82	55,32	38,41	38,63	1691,1
4	1976	45,75	47,83	48,47	90,39	88,72	196,39	508,02	374,79	167,7	71,13	43,62	43,83	1726,63
5	1977	79,25	92,91	201,66	114,47	221,67	352,74	427,54	340,82	148,94	71,71	45,67	48,8	2146,17
6	1978	58,75	56,48	68,14	146,61	226,86	249,09	341,01	257,08	124,13	60,59	41,74	43,71	1674,2
7	1979	59,92	65,68	127,87	293,59	237,23	206,93	210,3	159,29	101,74	54,73	37,12	39,72	1594,13
8	1980	52,49	97,15	138,41	124,36	140,05	422,42	799,07	702,13	266,93	92,79	60,02	57,81	2953,63
9	1981	69,29	67,5	90,39	132,56	211,3	508,5	399,1	301	174,96	76,98	46,02	48,67	2126,28
10	1982	57,58	66,89	205,17	214,54	125,07	172,38	326,48	248,89	98,71	53,56	41,51	44,26	1655,04
11	1983	54,65	52,49	49,52	56,43	70,61	194,63	335,56	237,17	96,9	47,47	34,72	38,69	1268,84
12	1984	49,68	112,88	130,8	106,79	145,68	208,68	282,31	220,19	84,8	41,38	30,91	34,64	1448,74
13	1985	41,59	46,32	45,42	71,07	112,75	126,7	218,77	101,32	38,02	22,01	19,65	19,39	863,03
14	1986	47,8	52,25	61,11	146,03	111,45	136,66	133,45	97,22	65,43	22,01	19,65	21,38	914,45
15	1987	35,5	60,84	77,51	181,75	217,78	235,94	454,16	337,31	158,62	61,17	37,76	41,23	1899,58
16	1988	48,91	80,2	153,64	120,26	151,94	334,58	512,86	355,46	151,36	72,3	41,51	44,2	2067,23
17	1989	76,91	99,57	125,53	85,12	77,74	146,61	114,09	63,25	27,25	22,01	19,65	37,84	895,58
18	1990	47,8	52,25	68,97	146,03	115,16	136,66	133,45	97,22	65,43	22,01	19,65	21,38	926,01
19	1991	35,59	52,74	63,7	44,4	77,51	175,65	246,75	149,88	81,77	30,79	19,65	19,39	997,81
20	1992	23,24	47,92	74,93	69,3	76,44	170,11	330,23	267,38	111,3	46,02	35,2	46,03	1298,1
21	1993	70,21	104,71	147,99	82,57	81,94	182,58	394,66	400,28	126,45	46,87	23,5	86,95	1748,7
22	1994	46,91	52,26	53,18	90,24	106,55	133,08	170,24	101,27	16,65	22,01	19,65	26,32	838,37
23	1995	34,01	73,39	79,4	151,62	120,61	163,17	336,3	233	91,25	29,18	19,65	28,73	1360,3
24	1996	51,97	140,62	85,22	173	152,54	365,67	511,66	407,66	121,56	51,25	23,93	38,48	2123,56
25	1997	89,59	66,5	129,53	139,07	98,91	90,81	311,72	227,94	73,15	22,12	19,65	33,91	1302,9
26	1998	51,47	81,09	95,64	70	86,35	163,3	355	233,16	81,52	22,92	19,65	34,91	1295,03
27	1999	32,84	70,81	194,5	114,85	191,79	182,82	245,6	137,66	52,27	22,01	19,65	25,96	1290,76
28	2000	35,87	38,46	39,56	86,68	94,61	186,83	414,78	228,7	55,01	25,9	34,27	24,26	1264,91

Tablo 4.10: Aslantaş Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s) [Akbulut, 2003]

Sıra	Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1	1973	60,16	68,55	54,93	44,66	75,47	145,58	209,86	123,04	46,74	22,01	19,65	20,91	891,56
2	1974	34,53	44,19	69,16	52,63	71,82	259,54	224,83	122,38	48,58	25,86	22,6	35,82	1011,94
3	1975	42,11	44,25	95,51	115,93	120,83	284,58	571,32	354,26	121,35	58,34	40,38	42,15	1891,01
4	1976	51,39	53,92	54,93	102,1	100,22	221,33	571,32	420,79	185,33	76,13	46,24	48,01	1931,72
5	1977	89,08	104,63	227,26	128,15	249,78	397,22	480,78	382,59	164,23	76,79	48,54	53,59	2402,65
6	1978	66,02	63,65	77,07	165,34	255,61	280,62	383,44	288,39	136,32	64,27	44,13	47,87	1872,74
7	1979	67,34	74	144,26	330,69	267,28	233,19	236,41	178,37	111,14	57,68	38,93	43,38	1782,66
8	1980	58,97	109,4	156,12	140,31	157,96	475,61	898,74	789,04	296,97	100,5	64,68	63,73	3312,03
9	1981	77,88	76,04	102,1	149,53	238,11	572,45	448,79	337,79	193,5	82,71	48,94	53,45	2381,3
10	1982	64,7	75,36	231,22	241,76	141,11	194,33	367,1	279,16	107,73	56,36	43,87	48,48	1851,18
11	1983	61,41	59,16	56,12	63,89	79,84	219,36	377,31	265,99	105,69	49,51	36,22	42,22	1416,73
12	1984	55,81	127,1	147,55	120,55	164,3	235,17	317,41	246,88	92,08	42,66	31,94	37,66	1619,11
13	1985	46,72	52,22	51,51	80,36	127,25	142,94	245,94	113,16	39,46	22,01	19,65	20,51	961,73
14	1986	53,7	58,89	69,16	164,68	125,79	154,14	149,96	108,55	70,29	22,01	19,65	22,75	1019,58
15	1987	39,87	68,55	87,61	204,87	245,4	265,58	510,73	378,63	175,12	64,93	39,65	45,08	2126,02
16	1988	54,95	90,34	173,25	135,7	171,34	376,8	576,76	399,06	166,95	77,44	43,87	48,42	2314,87
17	1989	86,44	112,12	141,63	96,17	87,87	165,34	128,17	70,34	27,34	22,01	19,65	41,27	998,35
18	1990	53,7	58,89	77,01	164,68	129,5	154,14	149,96	108,55	70,29	22,01	19,65	22,75	1031,13
19	1991	39,97	59,44	72,07	50,36	87,6	198,01	277,41	167,79	88,67	30,79	19,65	20,51	1112,25
20	1992	26,07	54,01	84,7	78,37	86,41	191,78	371,32	299,97	121,89	47,89	36,77	50,48	1449,65
21	1993	78,9	117,91	166,89	93,3	92,59	205,81	443,79	449,47	138,94	48,84	23,61	96,51	1956,55
22	1994	52,69	58,9	60,24	101,92	120,28	150,12	191,34	113,1	15,41	22,01	19,65	28,31	933,99
23	1995	38,19	82,67	89,73	170,98	136,09	183,96	378,15	261,29	99,33	29,18	19,65	31,02	1520,23
24	1996	58,38	158,3	96,28	195,03	172,01	411,77	575,41	457,78	133,43	53,76	24,09	41,99	2378,24
25	1997	100,71	74,92	146,13	156,86	111,68	102,57	350,49	255,6	78,97	22,12	19,65	36,84	1456,55
26	1998	57,83	91,33	108	79,16	97,55	184,12	399,19	261,48	88,39	22,92	19,65	37,97	1447,59
27	1999	36,87	79,77	219,21	129,61	216,16	206,08	276,11	154,05	55,48	22,01	19,65	27,9	1442,9
28	2000	40,28	43,38	44,91	97,92	106,84	210,59	466,43	256,46	58,56	25,9	35,72	25,99	1412,96

Tablo 4.11.a: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (m^3/s)

Tablo 4.11.b: 1973-1974 yılları arasındaki kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (m^3/s)

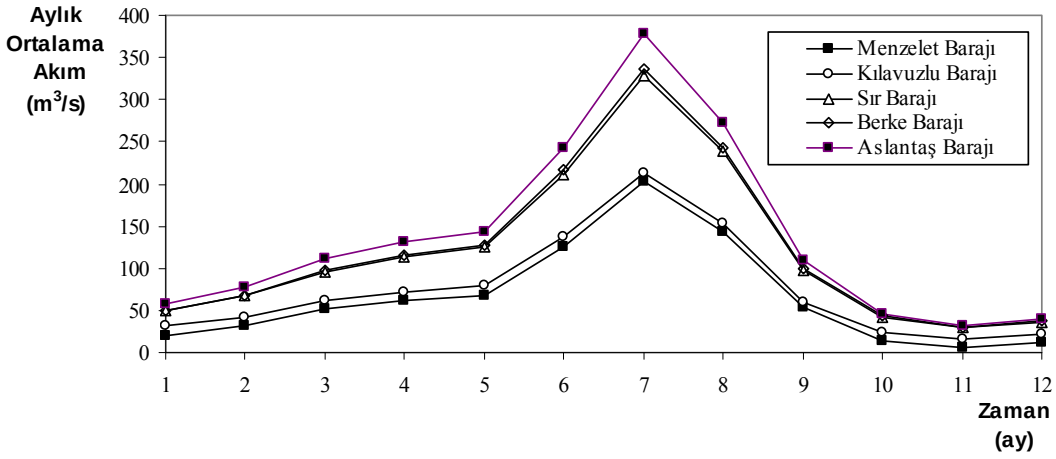
Tablo 4.11.a

Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Menzelet	20,67	31,65	50,86	62,00	68,23	126,24	202,18	143,54	53,99	13,61	6,93	11,36	791,26
Kılavuzlu	31,12	42,50	61,25	72,40	80,08	136,63	213,03	153,77	60,67	23,92	15,95	21,87	913,19
Sır	49,58	67,06	96,15	113,28	125,14	211,73	329,02	238,32	97,20	42,26	29,70	36,34	1435,80
Berke	50,69	68,54	98,23	115,72	127,83	216,25	335,99	243,40	99,40	43,36	30,52	37,21	1467,15
Aslantaş	56,95	77,21	110,88	130,55	144,17	243,67	377,80	273,00	108,51	45,31	31,65	40,56	1640,26

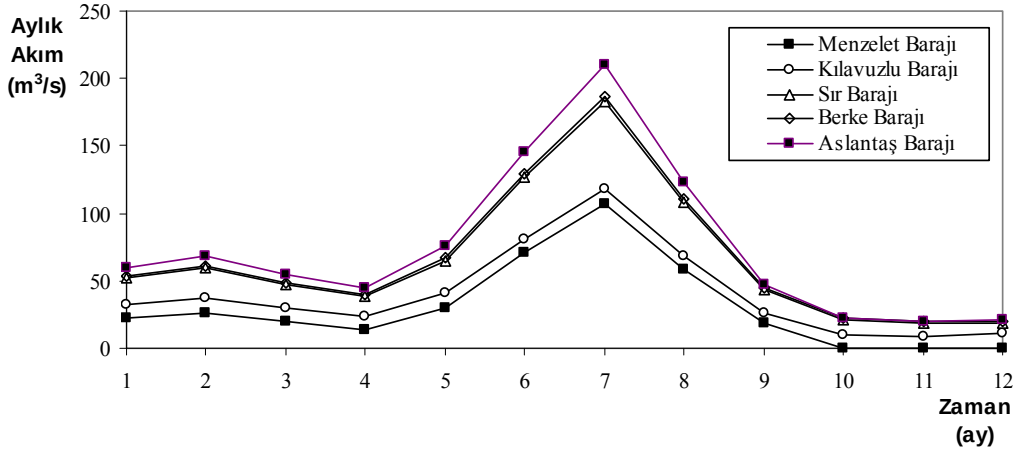
Tablo 4.11.b

Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Menzelet	22,48	26,70	19,30	13,40	29,48	70,69	106,90	58,50	18,99	0,00	0,00	0,23	435,68
Kılavuzlu	32,93	37,60	29,70	23,88	41,34	81,08	117,84	68,78	25,66	10,31	9,02	10,74	488,88
Sır	52,37	59,52	47,4	38,45	65,28	126,32	182,8	107,76	43,43	21,35	19,05	19,24	782,96
Berke	53,54	60,84	48,47	39,33	66,72	129,04	186,7	110,1	44,5	22,01	19,65	19,75	800,66
Aslantaş	60,16	68,55	54,93	44,66	75,47	145,58	209,86	123,04	46,74	22,01	19,65	20,91	891,56

1973 ile 2000 yılları arasında gelen toplam akımlar gözetilerek kuraklık açısından kritik dönem belirlenmiştir. Buna göre, kritik dönem olarak, 1973-1974 yılları arası seçilmiştir. Bu kritik dönemde her bir baraja ait aylık akım gözlem değerleri Tablo 4.12'de ve Şekil 4.14'de gösterildiği gibidir.



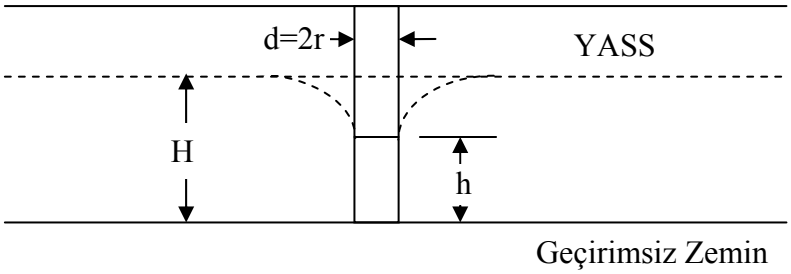
Şekil 4.13: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar



Şekil 4.14: Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar

4.6 Menzelet Barajı'nda Kuyu Bölgesine ait özellikler

Çok barajlı sistemlerde baraj etrafında kuyular açılarak, kuyulardan çekilen suyun sistem tarafından toplam enerji üretimi üzerindeki etkileri bu çalışmada irdelenmiştir. Burada, herhangi bir kuyuya ait şematik görünüş, Şekil 4.15' de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.15 Herhangi bir kuyunun şematik görünüşü

Burada, akifer kalınlığı *H* olan yeraltı suyunda *d (=2r)* çaplı bir kuyudan çekilecek debi Q_{kuyu} olduğuna göre, Q_{kuyu} , *H*'ın bir fonksiyonu olup,

$$Q_{kuyu} = \pi K \frac{H^2 - h^2}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \tag{4.1}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada *K*, hidrolik geçirgenlik katsayısını göstermekte olup,

$$K = 0{,}01154.d_{10}^2 \tag{4.2}$$

ifade edilmektedir. Burada, d_{10}, elek analizinde malzemenin *%10*' nun geçtiği dane çapı olup, *20 mm* olarak alınmıştır. Buna gore $K=46.10^{-5}$ *m/s'* dir. *R* ise, kuyunun etki yarıçapını göstermekte olup, *H* ve *h*'nın fonksiyonu olarak,

$$R = 3000(H - h)\sqrt{K} \tag{4.3}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Gözeneklerin tıkanmaması için gerekli olan debi ise,

$$Q_k = 2\pi r h \frac{\sqrt{K}}{30} \tag{4.4}$$

ile gösteriliilmekte olup, kuyudan çekilebilecek en büyük debi, kuyu gözeneklerinin tıkanmaması için gerekli olan debi ile sınırlanmıştır. Yani,

$$Q_{Optimum} = Q_{kuyu}^{Maks} \leq Q_k$$

olmalıdır. Burada, Menzelet Barajı etrafında her *H* değerine ait $Q_{Optimum}$ değeri elde edilmiştir. Tablo 4.12'de herhangi bir kuyu için optimum çekilecek su miktarı değerleri verilmektedir. Bu verilerden yola çıkarak, *H*-$Q_{Optimum}$ değişimini elde edilmiş olup, Şekil 4.16' da gösterildiği gibidir.

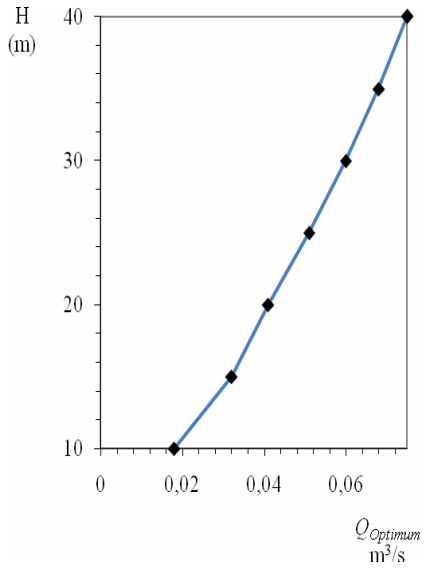
Tablo 4.12: Herhangi bir kuyu için optimum çekilecek su miktarı değerleri

H (m)	**h** (m)	**R** (m)	**Q** (m^3/s)	Q_k (m^3/s)	$Q_{Optimum}$ (m^3/s)	$\sum G_{i,t}^{Min}$ (10^6 m^3/s)	$\sum G_{i,t}^{Maks}$ (10^6 m^3/s)	k_s^{Min}	k_s^{Maks}
40	34	386,05	0,075	0,075	0,075	30	150	155	771
35	31	257,26	0,068	0,068	0,068	30	150	170	851
30	28	128,68	0,060	0,060	0,060	30	150	192	964
25	24	64,34	0,051	0,051	0,051	30	150	226	1134
20	19,5	32,17	0,041	0,041	0,041	30	150	282	1411
15	14,7	19,30	0,032	0,032	0,032	30	150	327	1639
10	9,9	6,43	0,018	0,018	0,018	30	150	463	2319

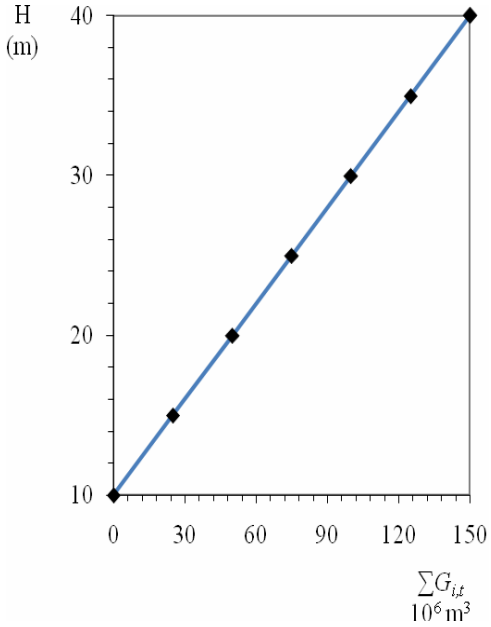
Tablo 4.12' de, k_s (kuyu sayısı) değerleri,

$$k_s^{Min,Maks} = \frac{\sum G_{i,t}^{Min,Maks}}{3600.24.30.Q_{Optimum}} \tag{4.5}$$

şeklinde belirlenmiştir. Eğer açılan kuyu sayısı sabit olarak kabul edilirse, H değerleri ile $\sum G_{i,t}$ değerleri arasında bir değişim olacaktır. Şekil 4.17' de, $H - \sum G_{i,t}$ değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.16: Menzelet Barajı'nda herhangi bir kuyuda *H*- $Q_{Optimum}$ değişimi



Şekil 4.17: Menzelet Barajı'nda sabit bir k_s değerine karşılık $H - \sum G_{i,t}$ değişimi

5. CEYHAN 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, kurak dönemin aylık akımları kullanılıp, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek, güvenilir güç değerleri enbüyüklenecek şekilde aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmeye çalışılmaktadır. Burada modele giren veriler:

- Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
- Tablo 5.1' de, barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar
- Tablo 5.2' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
- Tablo 5.3' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarları
- Tablo 5.4' de, barajlardaki aylık buharlaşma değerleri
- Tablo 5.5' de, Menzelet Barajı etrafındaki kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları
- Tablo 5.6' da, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları

şeklindedir.

Tablo 5.1: Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar

Barajlar	**Aylar**											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet 10^7 m^3)	0	0	0	2	3	7	5	7	35	30	15	5
Kılavuzlu 10^7 m^3)	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Sır 10^7 m^3)	3	3	2	3	4	6	4	6	21	18	10	5
Berke (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Aslantaş (10^7 m^3)	0	0	0	1	1	2	2	2	8	6	3	1

Tablo 5.2: Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
S_i^{Maks} (10^7 m^3)	195	8	112	43	199
S_i^{Min} (10^7 m^3)	53	7	45	12	53

Tablo 5.3: Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
Q_i^{Maks} (10^7 m^3/ay)	34	39	84	89	60

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

O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
48	10.4	30.3	82.7	132.8	197	242.7	227.6	157.7	89	34.9	11.1

Tablo 5.5: Menzelet Barajı etrafındaki kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları

Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet 10^7 m^3)	G	G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	G
Kılavuzlu 10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sır 10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Berke (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aslantaş (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.6: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları

G (10^7 m^3/ay)	0	10	20	30	40	50

5.1.2. Güvenilir güç değerlerinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir güç değerlerinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

$\sum G_{i,t}$ =0 için P_G =163,970 MW

$\sum G_{i,t}$ =30.10^6 m^3/ay için P_G =147,690 MW

$\sum G_{i,t}$ =60.10^6 m^3/ay için P_G =131,400 MW

$\sum G_{i,t}$ =90.10^6 m^3/ay için P_G =115.120 MW

$\sum G_{i,t}$ =120.10^6 m^3/ay için P_G=98.840 MW

$\sum G_{i,t}$ =150.10^6 m^3/ay için P_G=82.558 MW

olarak elde edilmiştir. Bu elde edilen güvenilir güç değerleri, aynı modelde parametrik kısıt olarak kullanılıp, toplam enerji enbüyüklendikten sonra, toplam fayda grafiğinde en büyük faydaya karşılık olarak (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı belirlenmiştir. Optimum sulama-içme suyu miktarı 60.10^6 m^3/ay olup, bu değer (kuyulardan çekilen) için elde edilen tablolar ve şekiller aşağıdaki verildiği gibidir. Bunlar:

- Tablo 5.7' de, barajlardan kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları
- Tablo 5.8' da, barajlardan kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, dolu savaktan bırakılan akım miktarları
- Tablo 5.9' de, barajlardaki, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyeleri
- Tablo 5.10' de, barajların kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık güç değerleri
- Şekil 5.1' de, Menzelet Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi
- Şekil 5.2' de, Kılavuzlu Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi
- Şekil 5.3' de, Sır Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi
- Şekil 5.4' de, Berke Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi
- Şekil 5.5' de, Aslantaş Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi
- Şekil 5.6' da, kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, toplam aylık güç değerleri

şeklinde elde edilmiştir. Kurak dönemin aylık akımları ile yapılan uzun süreli işletme sonucunda, aylık minimum işletme seviyeleri, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu

miktarı parametrik olarak değiştirilerek, güvenilir güç değerleri enbüyükleyecek şekilde elde edilmiştir. Optimum sulama-içme suyu miktarına (kuyulardan çekilen) göre elde edilen aylık minimum işletme seviyelerine bakıldığı zaman, en büyük faydalı hacme sahip olan barajlardaki işletme seviyelerindeki değişim güvenilir gücün enbüyklenmesinde etkili olmaktadır. Burada, Menzelet 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.

Tablo 5.7: Barajlardan kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

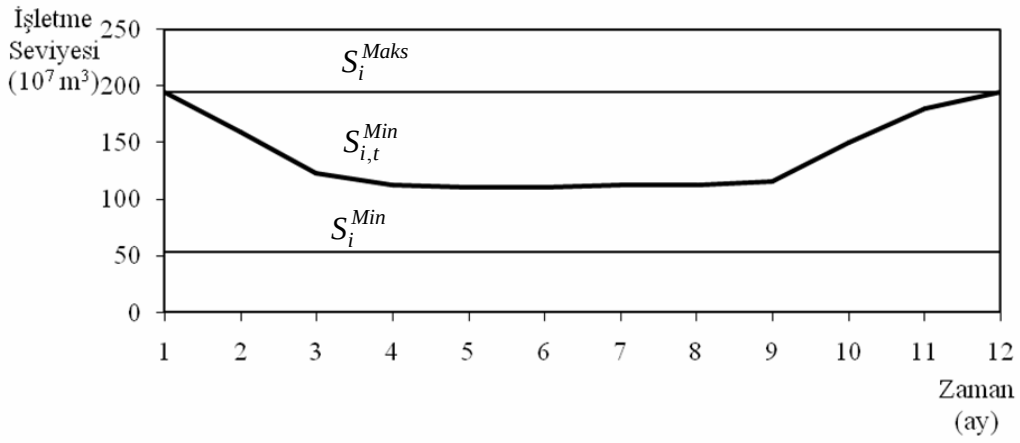
Barajlar	Aylar											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet (10^7 m^3)	34	34	10	4	4	3	4	3	0	0	0	3
Kılavuzlu (10^7 m^3)	38	36	13	7	7	6	7	6	3	3	2	5
Sır (10^7 m^3)	94	16	8	11	11	11	11	11	10	10	11	10
Berke (10^7 m^3)	89	20	8	10	10	11	10	11	11	11	11	10
Aslantaş (10^7 m^3)	60	28	7	10	10	10	10	9	16	16	14	11

Tablo 5.8: Barajlardan kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

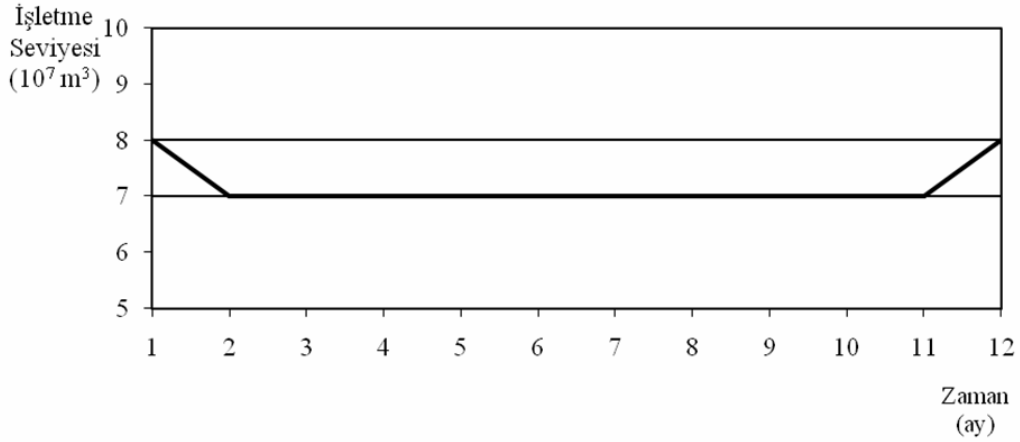
Barajlar	Aylar											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılavuzlu (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sır (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Berke (10^7 m^3)	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aslantaş (10^7 m^3)	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.9: Barajlardaki kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyeleri

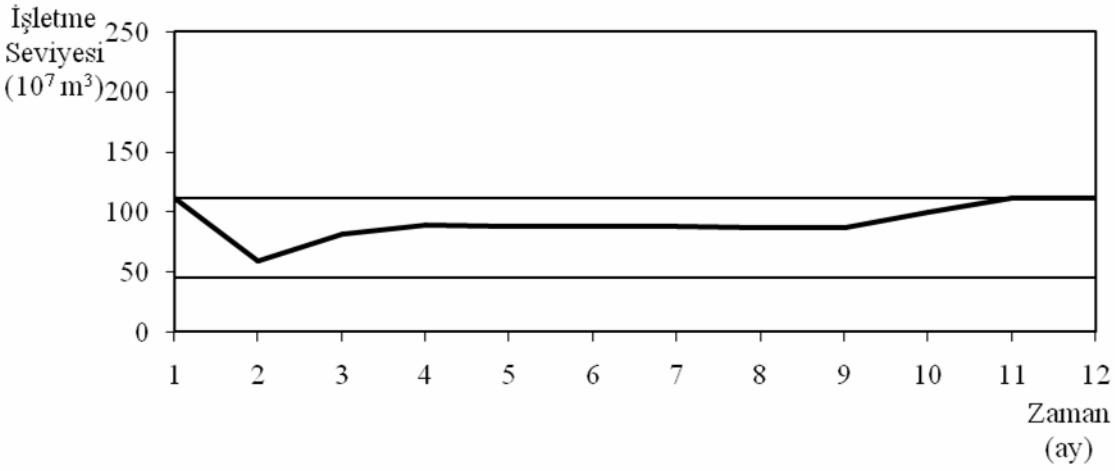
Barajlar	**Aylar**											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet (10^7 m^3)	195	159	123	113	111	110	113	113	116	150	180	195
Kılavuzlu ($10^7 m^3$)	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8
Sır (10^7 m^3)	112	59	82	89	88	88	88	87	87	100	111	112
Berke (10^7 m^3)	43	43	39	39	40	41	41	42	42	42	42	43
Aslantaş (10^7 m^3)	199	199	191	192	192	192	194	194	197	199	199	199



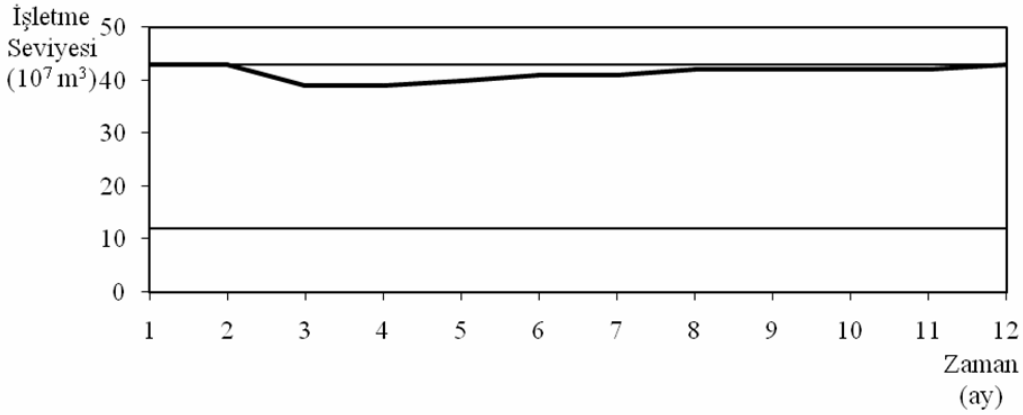
Şekil 5.1: Menzelet Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi



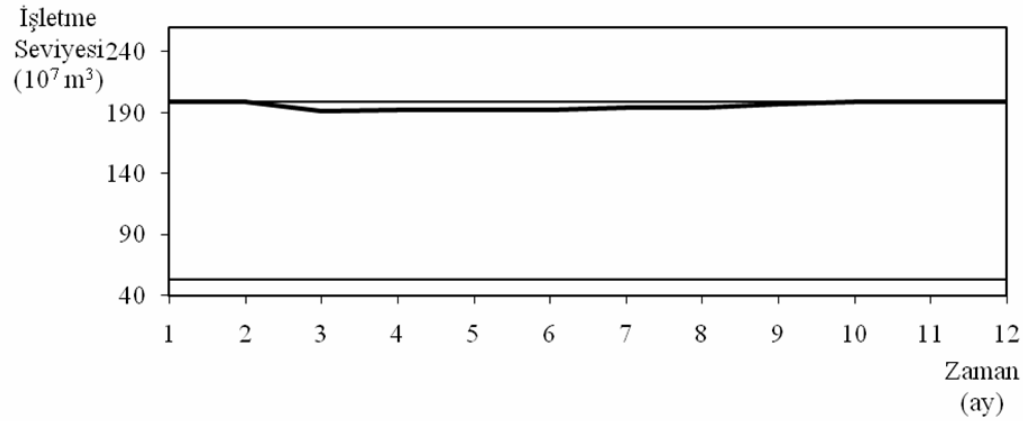
Şekil 5.2: Kılavuzlu Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi



Şekil 5.3: Sır Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi



Şekil 5.4: Berke Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi

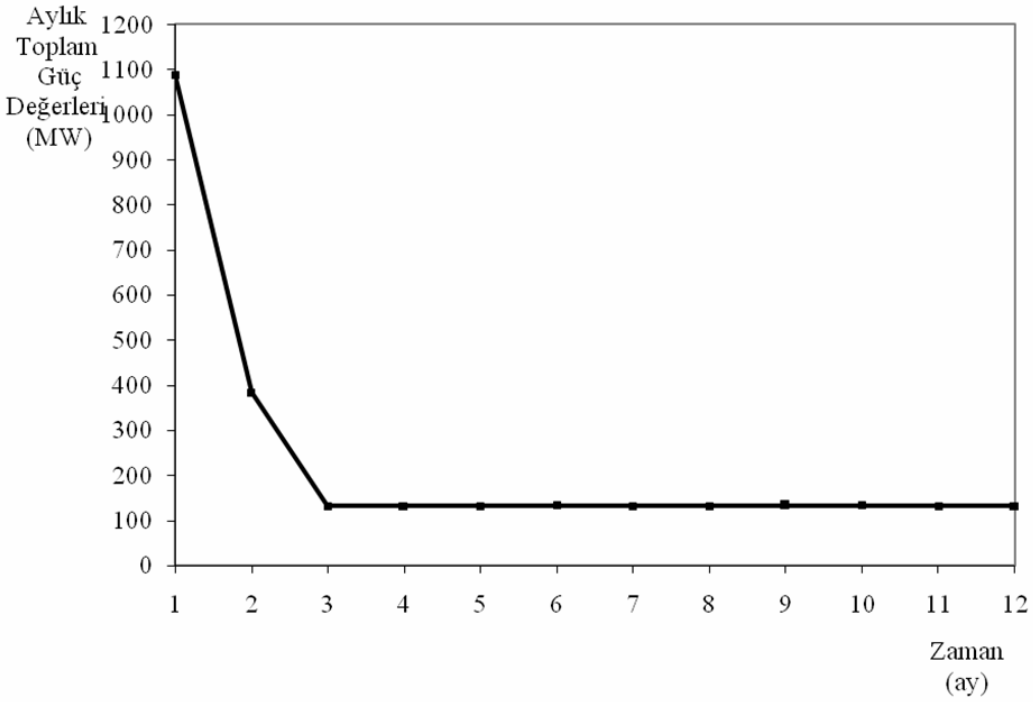


Şekil 5.5: Aslantaş Barajı'nda, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık minimum işletme seviyesi

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, buharlaşma miktarlarının gözetildiği kritik dönemin aylık akımları kullanılarak, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarına göre güvenilir güç enbüyüklenmekte ve güvenilir güç P_G=131,400 MW olarak elde edilmektedir.

Tablo 5.10: Barajların kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar(MW)					Toplam (MW)
	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş	
Temmuz	124,810	54,569	255,360	511,020	143,230	1089,000
Ağustos	114,720	48,351	41,282	113,320	66,309	383,980
Eylül	31,557	17,460	21,733	44,698	16,477	131,920
Ekim	12,375	9,402	30,157	56,270	23,538	131,740
Kasım	12,333	9,402	30,067	56,659	23,538	132,000
Aralık	9,281	8,059	30,067	62,325	23,587	133,320
Ocak	12,417	9,402	30,067	57,042	23,634	132,560
Şubat	9,375	8,059	29,975	62,746	21,357	131,510
Mart	0	4,029	27,818	62,746	38,119	132,710
Nisan	0	4,029	28,717	62,746	38,194	133,690
Mayıs	0	2,872	32,051	63,160	33,420	131,500
Haziran	11,410	7,180	29,137	57,418	26,259	**131,400**



Şekil 5.6: Kurak dönemde, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarında, aylık toplam güç değerleri

5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, kuyulardan çekilen sulama içme suyu miktarı ve modelde kısıt olarak güvenilir güç değerleri parametrik değişken kabul edilmiştir. Burada modele girilen veriler:

- Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
- Tablo 5.11' de, barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar
- Tablo 5.2' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
- Tablo 5.3' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları
- Tablo 5.4' de, barajlardaki aylık buharlaşma değerleri
- Tablo 5.5' de, Menzelet Barajı etrafındaki kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları
- Tablo 5.6' da, kuyulardan çekilen su miktarı değerleri

şeklinde verilmektedir.

Tablo 5.11: Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar

Barajlar	**Aylar**											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet (10^7 m^3)	4	2	3	5	8	13	16	18	33	52	37	14
Kılavuzlu (10^7 m^3)	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Sır (10^7 m^3)	5	4	4	5	6	9	11	12	19	30	22	9
Berke (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1
Aslantaş (10^7 m^3)	1	0	1	2	2	3	4	4	7	11	8	2

Aşağıda verilen toplam sulama-içme suyu miktarlarına karşılık güvenilir güç değerleri parametrik olarak değiştirilerek modele kısıt şeklinde girilmiştir. Bunlar:

$\sum G_{i,t}$ =0 için P_G=163,970 MW

$\sum G_{i,t}$ =30.10^6 m^3/ay için P_G=147,690 MW

$\sum G_{i,t}$ =60.10^6 m^3/ay için P_G=131,400 MW

$\sum G_{i,t}$ =90.10^6 m^3/ay için P_G =115.120 MW

$\sum G_{i,t}$ =120.10^6 m^3/ay için P_G =98.840 MW

$\sum G_{i,t}$ =150.10^6 m^3/ay için P_G =82.558 MW

şeklindedir.

5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletmede, kurak dönemin aylık ortalama akımları kullanılıp, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları parametrik olarak değiştirip elde edilen güvenilir güç değerleri, modelde kısıt olarak kullanılmakta (aynı zamanda parametrik değişken) ve toplam enerjinin enbüyüklenmesine çalışılmaktadır. Buradan, aylık normal işletme seviyeleri elde edilmektedir. Bu durumda, toplam sulama-içme suyu miktarlarına karşılık ortalama ve sekonder (ikincil) güç değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir. Bunlar:

$\sum G_{i,t}$ =0 için P_{ort} =438.340 MW, P_{sec} =274.370 MW

$\sum G_{i,t}$ =30.10^6 m^3/ay için P_{ort} =434.470 MW, P_{sec} =286.780 MW

$\sum G_{i,t}$ =60.10^6 m^3/ay için P_{ort} =430.420 MW, P_{sec} =299.020 MW

$\sum G_{i,t}$ =90.10^6 m^3/ay için P_{ort} =426.400 MW, P_{sec} =311.280 MW

$\sum G_{i,t}$ =120.10^6 m^3/ay için P_{ort} =422.320 MW, P_{sec} =323.480 MW

$\sum G_{i,t}$ =150.10^6 m^3/ay için P_{ort} =418.380 MW, P_{sec} =335.822 MW

şeklindedir. Toplam enerji enbüyüklendikten sonra, toplam fayda grafiğinde en büyük faydaya karşılık olarak (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı belirlenmiştir. Optimum sulama-içme suyu miktarı 60.10^6 m^3/ay olup, bu değer (kuyulardan çekilen) için elde edilen tablolar ve şekiller aşağıdaki verildiği gibidir. Bunlar:

- Tablo 5.12' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

- Tablo 5.13' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,
- Tablo 5.14' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,
- Şekil 5.7' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Menzelet Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,
- Şekil 5.8' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Kılavuzlu Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,
- Şekil 5.9' da, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak,Sır Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,
- Şekil 5.10' da, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Berke Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,
- Şekil 5.11' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Aslantaş Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,
- Şekil 5.12' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, toplam aylık güç değeri
- Tablo 5.15' de, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir. Elde edilen aylık normal işletme seviyelerine bakıldığı zaman, Menzelet 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.

Tablo 5.12: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

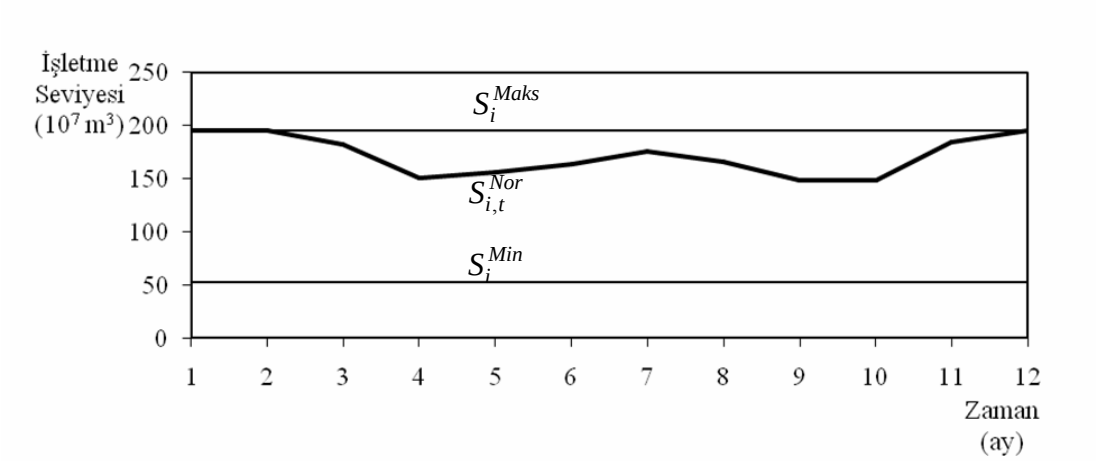
Barajlar	Aylar											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet (10^7 m^3)	2	13	34	0	0	0	25	34	33	16	26	12
Kılavuzlu (10^7 m^3)	6	14	37	4	2	4	27	38	35	19	29	14
Sır (10^7 m^3)	11	19	40	30	12	10	14	50	52	49	51	23
Berke (10^7 m^3)	12	18	41	29	12	12	14	51	54	50	52	24
Aslantaş (10^7 m^3)	13	19	41	31	12	15	15	54	60	60	60	26

Tablo 5.13: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

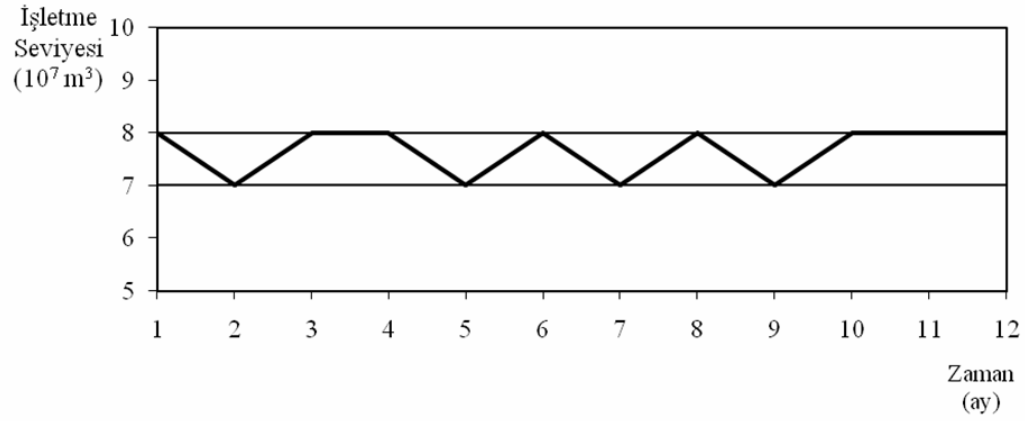
Barajlar	**Aylar**											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılavuzlu (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sır (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Berke (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aslantaş (10^7 m^3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.14: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri

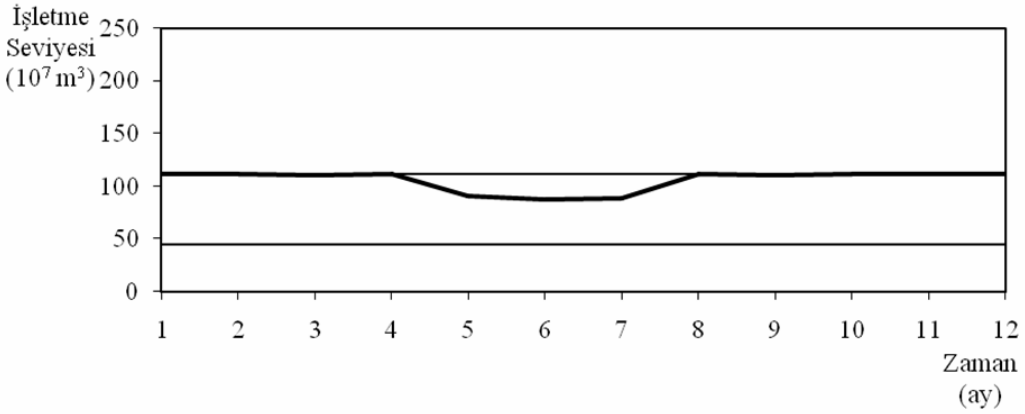
Barajlar	**Aylar**											
	T	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**
Menzelet (10^7 m^3)	195	195	182	151	156	164	176	166	149	148	184	195
Kılavuzlu ($10^7 m^3$)	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	8
Sır (10^7 m^3)	112	112	111	112	91	87	89	112	111	112	112	112
Berke (10^7 m^3)	43	42	43	42	43	43	42	43	43	42	43	43
Aslantaş (10^7 m^3)	199	199	198	199	198	199	198	199	199	199	199	199



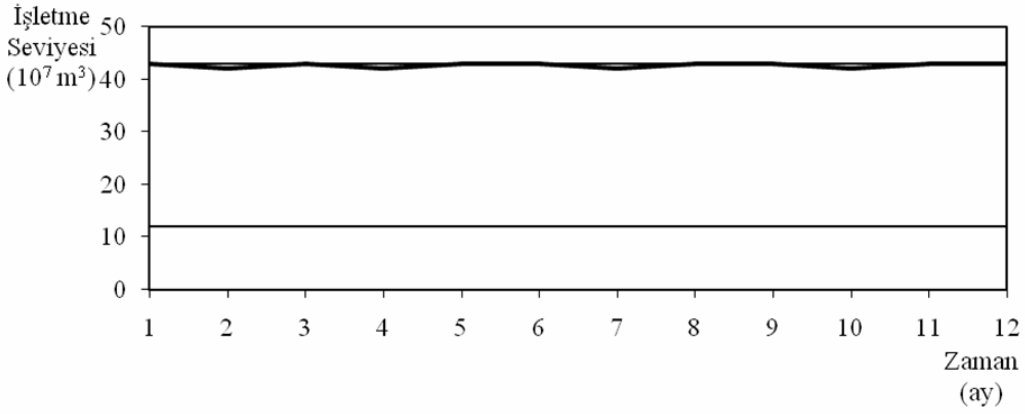
Şekil 5.7: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Menzelet Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



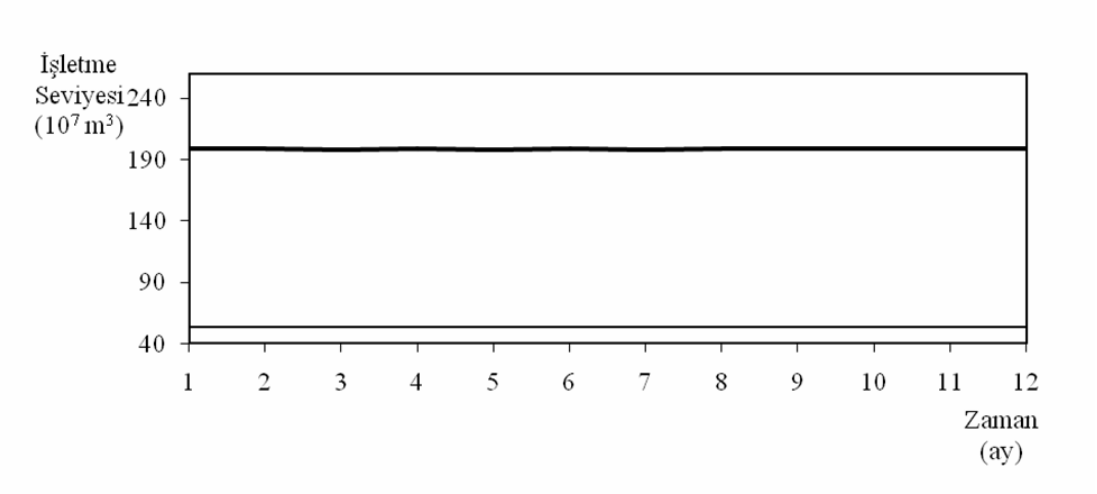
Şekil 5.8: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Kılavuzlu Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



Şekil 5.9: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Sır Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



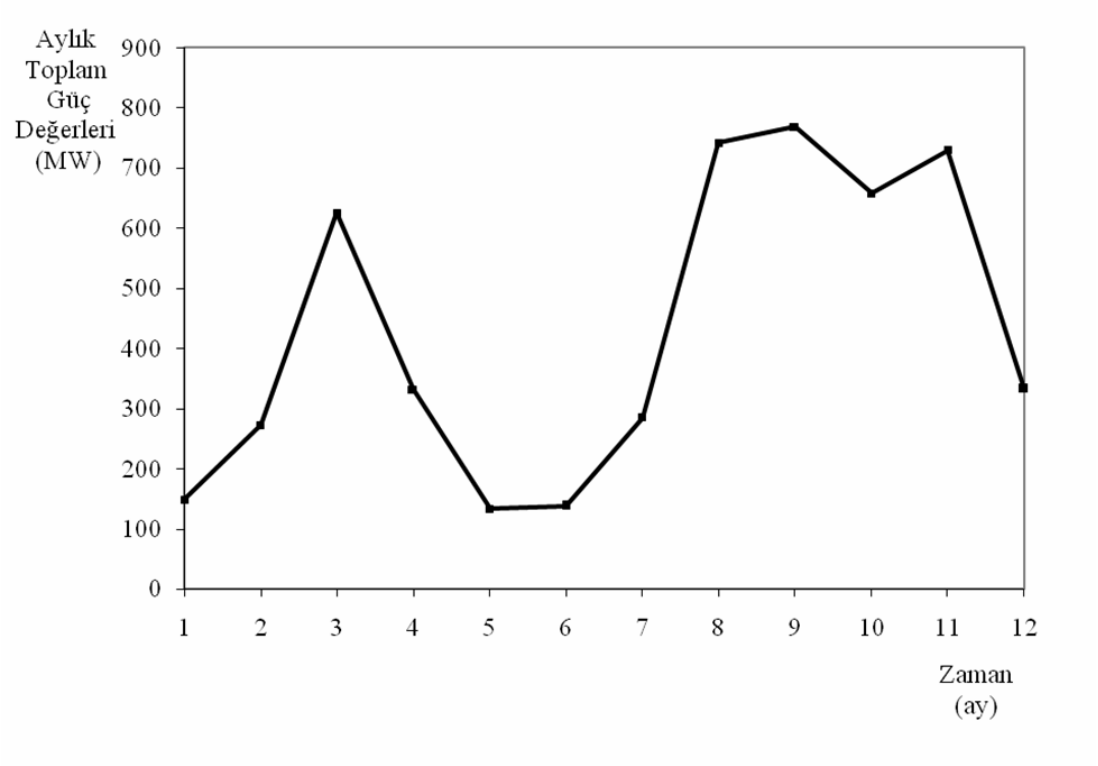
Şekil 5.10: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Berke Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



Şekil 5.11: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, Aslantaş Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi

Tablo 5.15: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, barajların aylık güç değerleri

Aylar	**Barajlar (MW)**					**Toplam (MW)**
	Menzelet	**Kılavuzlu**	**Sır**	**Berke**	**Aslantaş**	
Temmuz	7,607	8,616	32,051	68,902	31,033	148,210
Ağustos	48,884	20,105	55,361	103,350	45,356	273,060
Eylül	122,160	53,133	116,550	235,410	97,873	625,130
Ekim	0	5,744	85,281	166,510	74,001	331,540
Kasım	0	2,872	32,899	68,902	28,646	133,320
Aralık	0	5,744	27,333	68,902	35,807	137,790
Ocak	90,613	38,773	39,694	80,385	35,807	285,270
Şubat	119,690	54,569	145,690	292,830	128,910	741,680
Mart	113,660	50,261	151,510	310,060	143,230	768,720
Nisan	57,360	27,285	142,770	287,090	143,230	657,740
Mayıs	97,952	41,645	148,600	298,570	143,230	730,000
Haziran	45,642	20,105	67,016	137,800	62,066	332,630



Şekil 5.12: (Kuyulardan çekilen) Optimum sulama-içme suyu miktarı kullanılarak, aylık toplam güç değerleri

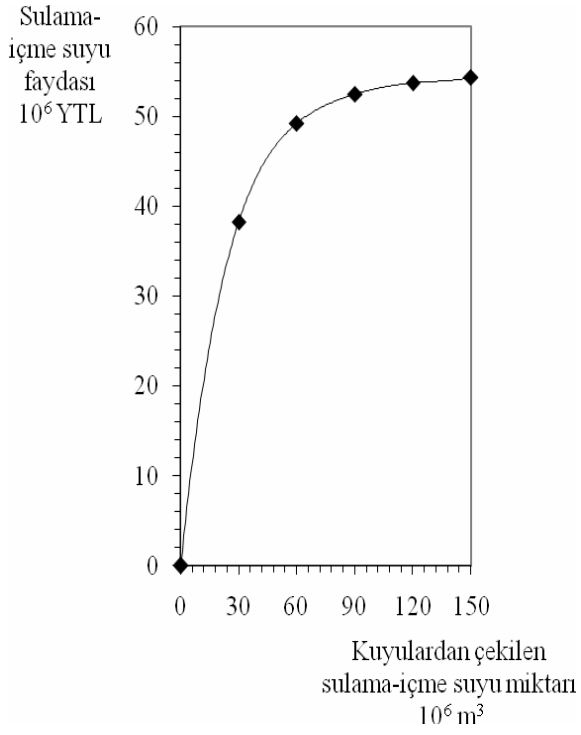
5.2 Toplam Fayda (sulama-içme suyu+enerji üretimi faydası) Değeri için Elde Edilen Sonuçlar

Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek, güvenilir güç değerleri ve aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmektedir. Aynı modelde, güvenilir güç değerleri parametrik kısıt ve değişken olarak kullanılarak ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek, toplam enerji değerleri enbüyüklenmekte ve aylık normal işletme seviyeleri elde edilmektedir. Burada,

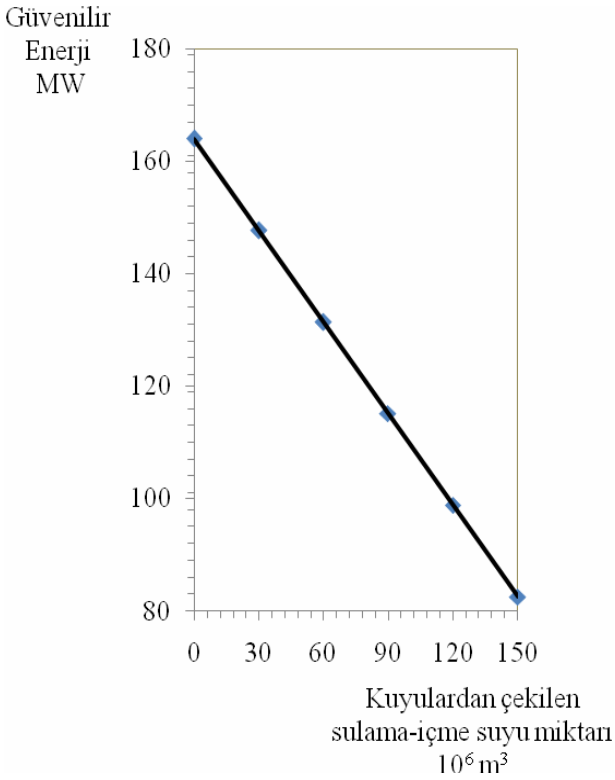
- Şekil 5.13' de, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık sulama-içme suyu faydası,
- Şekil 5.14' de, sulama-içme suyu miktarına karşılık güvenilir güç değerleri,
- Tablo 5.16' de, sulama-içme suyu ve güvenilir güç değerlerine karşılık olarak elde edilen ortalama ve sekonder güç değerleri,

- Şekil 5.15' de, sulama-içme suyu miktarına karşılık enerji faydası

verildiğinde, bu verilerden yola çıkarak sulama-içme suyu miktarlarına karşılık olarak sulama-içme suyu faydası değerleri ile enerji faydası değerleri toplanarak toplam fayda değerleri elde edilmektedir. Şekil 5.16'da, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları karşılık toplam fayda değerleri gösterilmektedir. Burada, en büyük faydayı veren sulama-içme suyu miktarı 60.10^6 m^3 olup, bu değer, (kuyulardan çekilen) optimum sulama-içme suyu miktarı olarak atanmıştır.



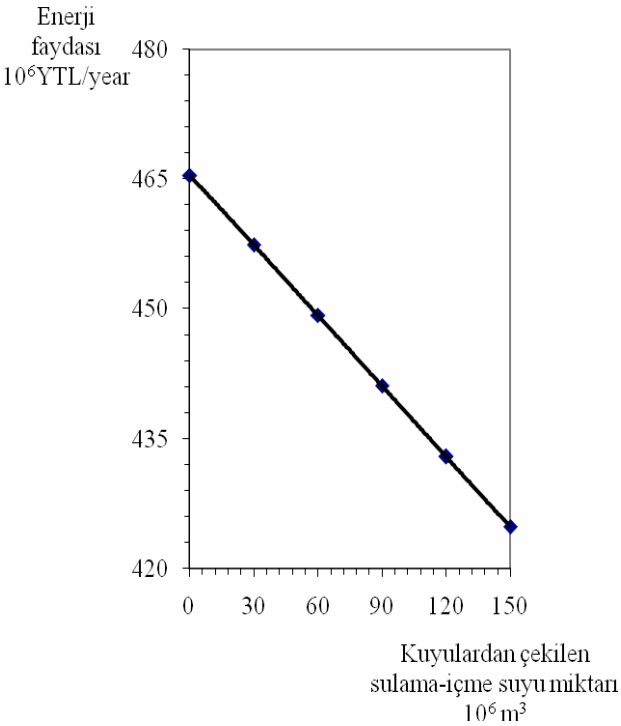
Şekil 5.13: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık sulama-içme suyu faydası



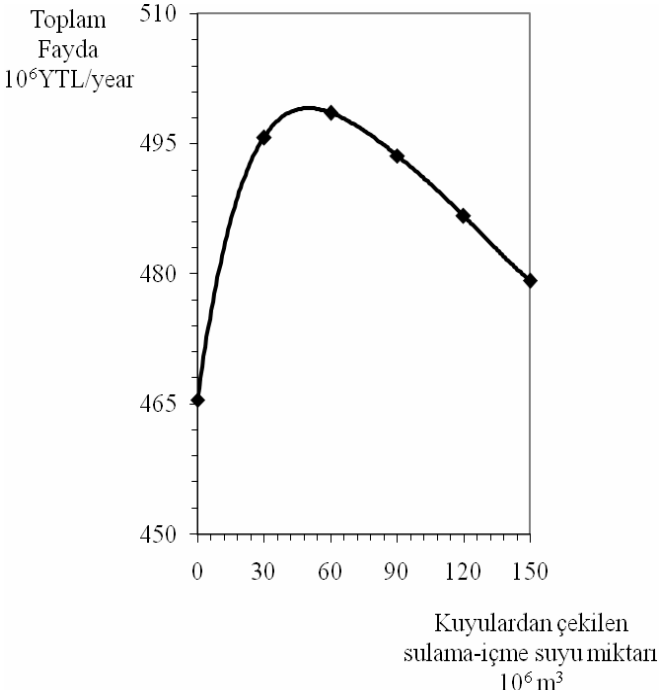
Şekil 5.14: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık güvenilir güç değerleri

Tablo 5.16: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu ve güvenilir güç değerlerine karşılık olarak elde edilen ortalama ve sekonder güç değerleri

Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı (10^6 m^3)	Güvenilir Güç (MW)	Sekonder Güç (MW)
0	163,970	274,370
30	147,690	286,780
60	131,400	299,020
90	115,120	311,280
120	98,840	323,480
150	82,558	335,822



Şekil 5.15: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarına karşılık enerji faydası

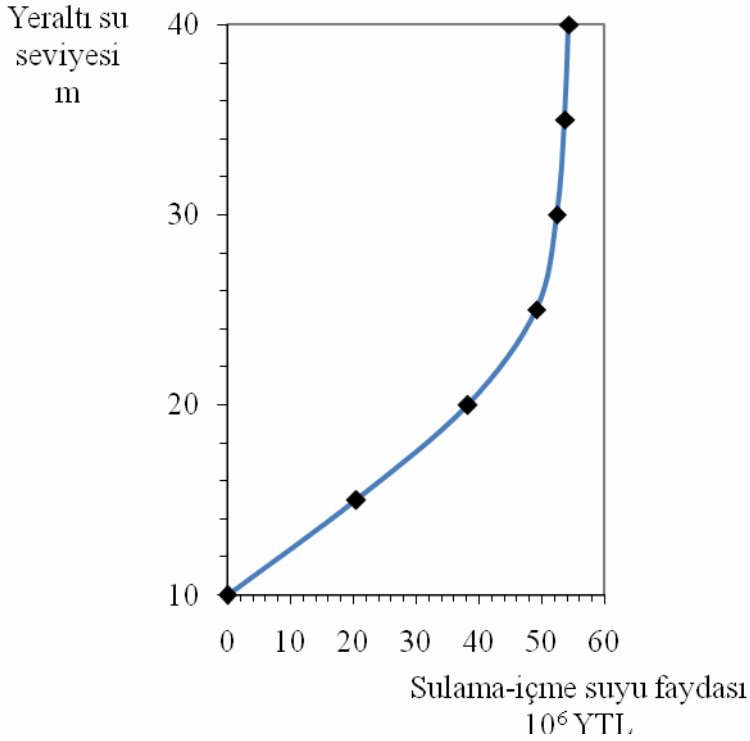


Şekil 5.16: Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarları karşılık toplam fayda değerleri

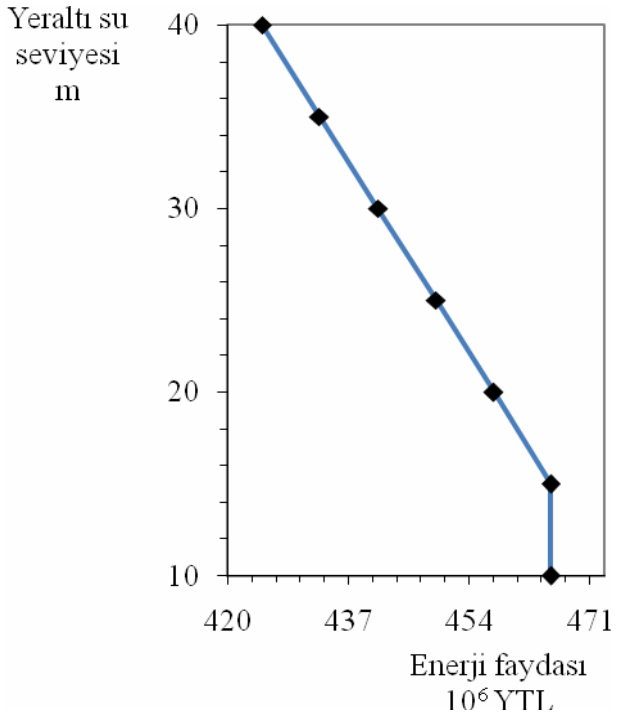
Açılan kuyu sayısı (k_s) sabit olarak kabul edildiği taktirde;

Şekil 5.17'de, yer altı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık sulama-içme suyu faydası değişimi
Şekil 5.18' de, yer altı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık enerji fayda değişimi
Şekil 5.19'da, yer altı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık toplam fayda değişimi

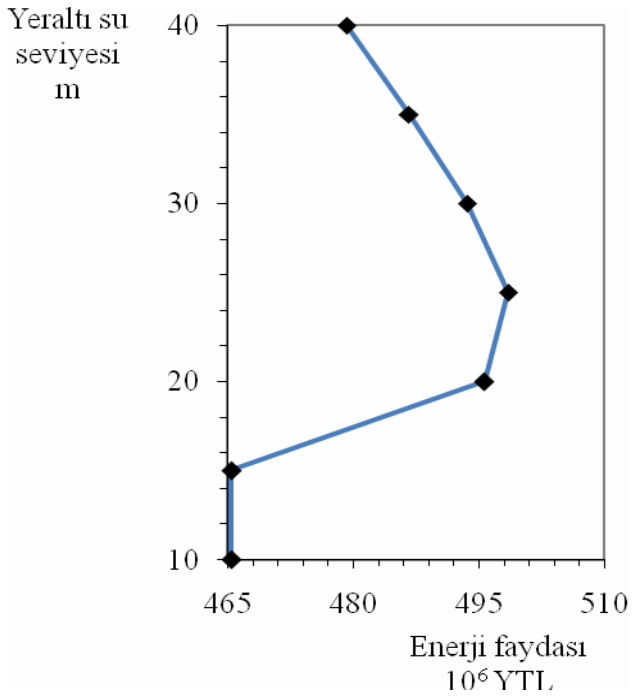
grafikleri elde edilmiştir. Burada yeraltı su seviyesi yükseldikçe, sulama-içme suyu faydası artarken enerji faydası azalmakta ve toplam fayda değeri, yeraltı su seviyesinin 24.5 m olduğu yerde en büyük değere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 5.17: Yeraltı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık sulama-içme suyu faydası



Şekil 5.18: Yeraltı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık enerji fayda



Şekil 5.19: Yeraltı su seviyesine (akifer kalınlığı) karşılık toplam fayda

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme için, öncelikle, bir akarsu havzasında, birbirine çeşitli şekillerde bağlanmış barajlardan oluşan bir su kaynakları sistemi bütün değişkenleriyle matematiksel olarak tanımlanmış ve daha sonra **a**ylık akımların kullanıldığı, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarının ve güvenilir güç değerinin parametrik değişken olarak kabul edildiği uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modeli kurulmuştur. Bu modele göre elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir:

1. Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda, aylık kurak ve ortalama akımlar kullanılarak ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrik olarak değiştirilerek güvenilir gücün ve toplam enerjinin enbüyüklenmesinde elde edilen optimal minimum ve normal işletme seviyelerine bakıldığında, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyeleri, işletmeyi yöneten ve yönlendiren bir durumdadır.

2. Uzun süreli planlama için yapılan optimal işletme neticesinde, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı artıkça güvenilir güç değeri azalmaktadır.

3. Sulama-içme suyu miktarı artıkça, sulama faydası artmakta ve enerji faydası azalmaktadır.

4. Kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı 60.10^6 m^3 olduğu yerde toplam fayda değeri 498,535. 10^6 YTL olup, toplam fayda en büyük değerine ulaşmıştır.

5. Açılan kuyu sayısı sabit olduğu bir durumda yeraltı su seviyesi yükselince, kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı artmakta, sulama-içme suyu faydası artmakta ve enerji faydası azalmakta olduğu görülmüştür.

6. Yeraltı suyu seviyesinin 24.5 m olduğu yerde toplam fayda değeri en büyük değerine ulaşmıştır.

İleriki zamanlarda yapılacak çalışmalar olarak

1. Modelde, değişik sulama-içme suyu (kuyulardan çekilen) çekim senaryoların uygulanması
2. Bir benzetim modeli üretilerek, optimizasyondan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması
3. Diğer barajlar etrafında da kuyular açıldığı varsayılarak analizlerin yenilenmesi

önerilebilir.

KAYNAKLAR

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).

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).

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).

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

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

Bertsekas D., "Dynamic programming: Deterministic and stochastic models", ***Prentice-Hall***, Englewood Cliffs, N.J., (1987).

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

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

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

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

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).

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).

Georgakakos, A., "The value of streamflow forecasting in reservoir operations", ***Water Resources Bulletin***, 25(4), 789-800, (1989b).

Georgakakos, A., Yao. H., and Yu, Y., "Control model for hydro-electric energy-value optimization", ***J. Water Resources Planning and Management***, 123(1),30-38, (1997).

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

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).

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).

Hayes. D., Labadie. J., Sanders. T., and Brown. J., "Enhancing water quality in hydropower system operations", ***Water Resources Research***, 7(2), 471-483, (1998).

Henderson F. M. and Wooding R. A., "Overland flow and groundwater from a steady rainfall of finite duration", ***J. Geophys. Research***, vol.69, no.8, pp.1531-1550, (1964).

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

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).

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

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).

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).

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).

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

Labadie, J., Lazaro, R., and Morrow, D., "Worth of short-term rainfall forecasting for combined sewer overflow control", ***Water Resources Research***, 17(6),1594-1604, (1981).

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

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

Mishalani, N., and Palmer, N., "Forecast uncertainty in water supply reservoir operation", ***Water Resources Bulletin***, 24(6), 1237-1245, (1988).

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

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

Opan,M.,"Çok Barajlı Sistemlerde Çok amaçlı Optimal İşletme" Doktora Tezi,***Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstititüsü,***232s,Kocaeli 2007

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

Overton D. E. and Meadows M. E., "Streamwater modeling", ***Academic Press***, New York, (1976).

Philbrick. C., and Kitanidis, P., "Limitations of deterministic optimization applied to reservoir operations", ***J. Water Resources Planning and Management***, 125(3), 135-142, (1999).

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

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

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).

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).

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

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

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

Shim, K.-C., Fontane, D., and Labadie, J., "Spatial decision support system for integrated river basin flood control" ***J. Water Resources Planning and Management***, 128(3), 190-201, (2002).

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

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).

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

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).

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

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).

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).

Wasimi, S., and Kitanidis, P., "Real-time forecasting and daily operation of a multireservoir system during floods by linear quadratic Gaussian control", ***Water Resources Research***, 19(6), 1511-1522, (1983).

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

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

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).

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).

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

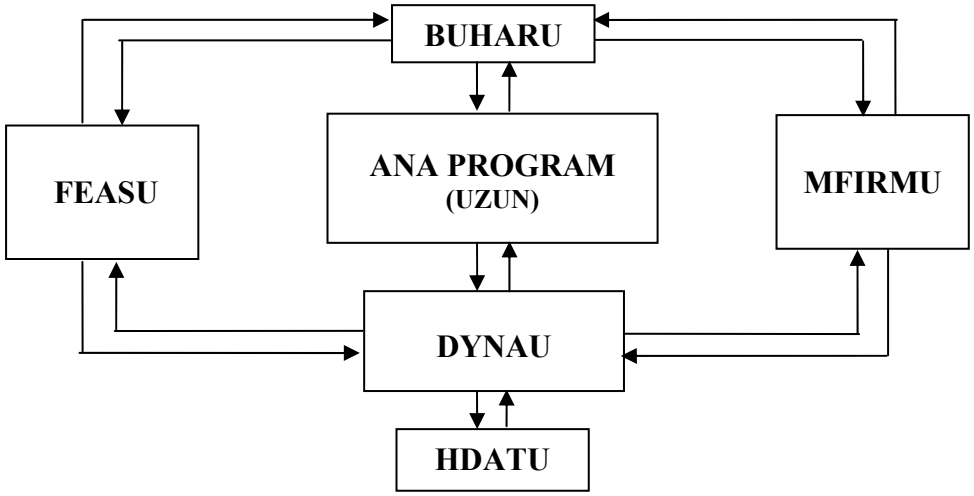
Yurtal R., "Çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırımlı dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası'na uygulanması", ***Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Adana, (101 S.), (1993),

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).

Ray K. Kingsley,Joseph B.Franzini,David L. Freyberg,George Tchobanoglous ''Hydraulics of wells''**Water resources engineering,** pg99-122 (1992)

EK-A(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 dönem gözetilerek bu döneme ait aylık akımlar kullanılarak ve kuyulardan çekilen sulama-içme suyu miktarı parametrşk olarak değiştirilerek güvenilir güç değerlerinin enbüyüklenmesi ve sonrasında kritik dönemden elde edilen güvenilir güç değerlerinin parametrik kısıt ve değişken olarak kullanılarak aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin en büyüklenmesi şeklindedir. Modelde öngörülen amaca uygun olarak program, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla, birbirine seri olarak bağlı ve istenen sayıda enerji amaçlı depolamalı barajının oluşturduğu su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.



Şekil A.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)

IG(i,j) :i-barajından j-zamanda kuyulardan çekilen sulama-içme suyu 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.)

A.1. Uzun (Ana Program)

Ana programın yaptığı işlemler şunlardır:

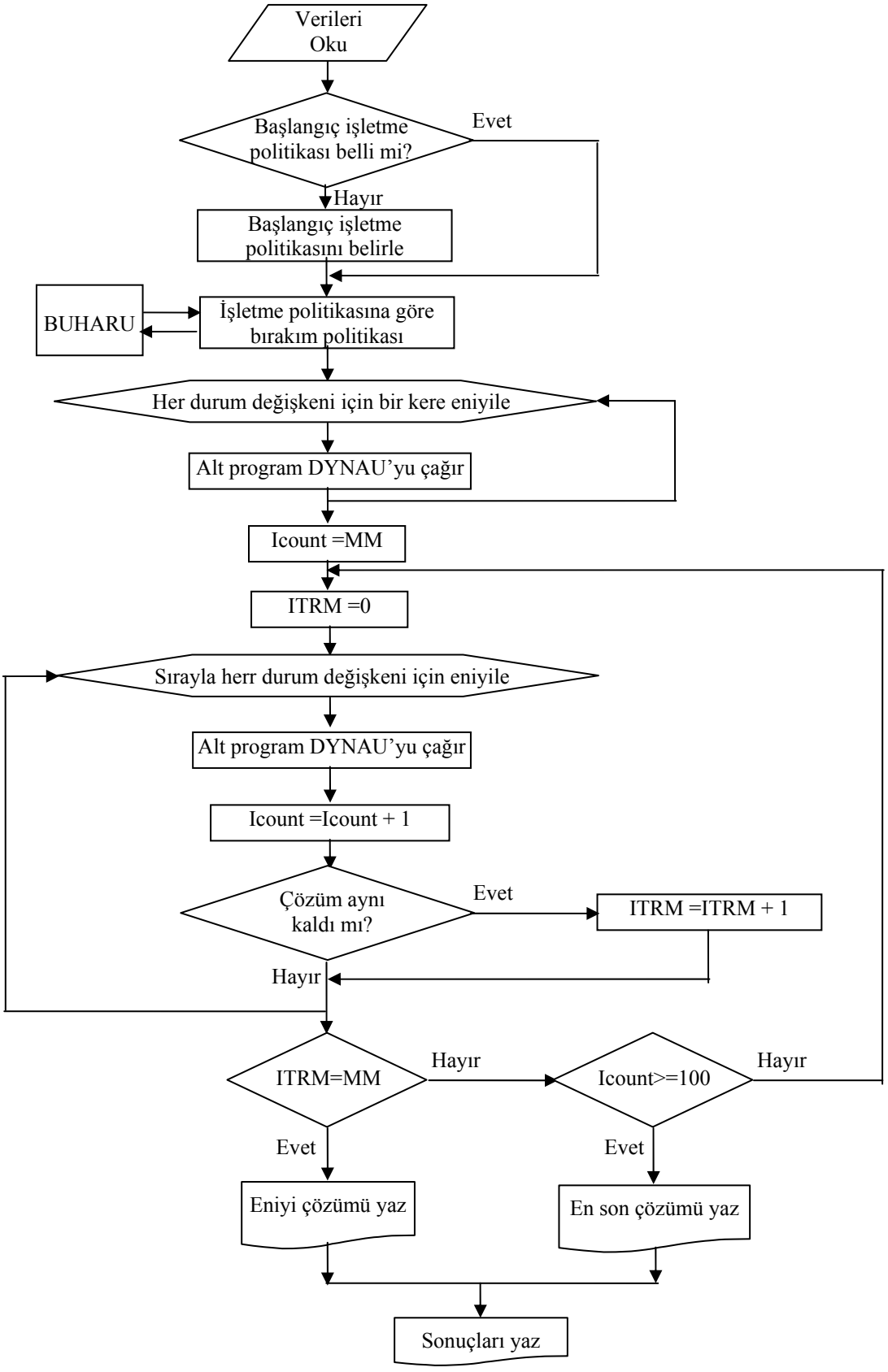
1.Verilerin okunması işlemi

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

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 A.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 BUHARU' ya gidilip ana programa dönüldükten sonra, aşağıdaki denklemde enerji üretimi için bırakılan su miktarı,

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

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

IQ(i,j)>IQM(i)

bu durumda buradaki fazla su miktarı dolu savaktan bırakılacak,

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

şeklinde olup, enerji için bırakılan maksimum su miktarını aşmıyorsa,

IR(i,j)=0

olarak başlangıçta öngörülen değer geçerli olacaktır.

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

Alt program DYNAU ile ilgili açıklamalar 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 DYNAU' ya gidilmişti. O zaman, yineleme sayısı baraj sayısı kadar olmuştur. Yani

ICOUNT=M

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

ITRM=0

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

IQS=IQ

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.

A.1.1. Dynau (Alt Program)

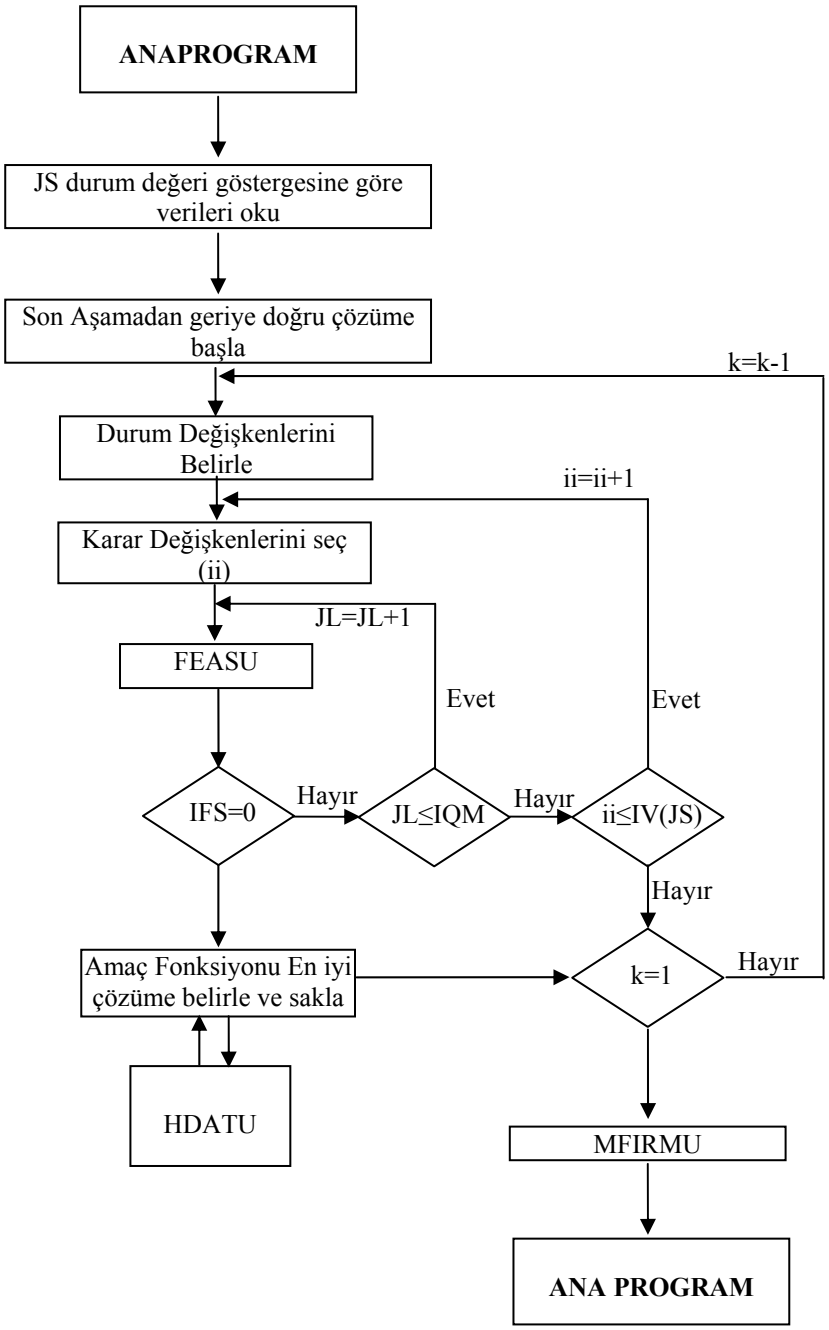
Ana program tarafından çağırılan bu alt program içerisinde, her bir aşamaya ait durum ve karar değişkeni değerlerinin sırayla ele alınarak amaç fonksiyonunda değerlendirildiği bir programdır. DYNAU alt programa bağlı diğer alt programlar, FEASU, MFIRMU ve HCEYU şeklindedir.

Burada, yapılan işlemler şunlardır:

1.Son aşamadan başlanarak geriye doğru gidilmesi(geriye doğru dinamik programlama)

2.Ana programdan JS durum değeri göstergesi ile gönderilen değişkenler kullanılarak ve diğer durumlardaki değişkenlerin değeri sabit tutularak her bir ii-durum değişkeni için JL-karar değişkeni değerleri belirlenip alt program FEASU' ya olurlu olup olmadıkları belirlemek amacıyla gönderilmektedir. Burada ii-durum

değişkeni değeri, JS' e karşılık gelen barajdaki minimum depolanan su miktarından maksimum depolanan su miktarına kadar değişmektedir. JL-karar değişkeni ise, JS



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

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

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

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

olmakta ve bu değere göre, aşama faydası

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

olarak hesaplanmakta ve amaç fonksiyonu ortamında değerlendirilmektedir.

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

SPI(ii,JL)>PI(ii,JL) ise SPI(ii,JL)=PI(ii,JL)
IC(ii,JL)=IQ(JS,k)

şeklinde olup, bu değerler IC değeri ile saklanmaktadır.

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

İkinci amaç fonksiyonunda ise, aşama faydası,

SPI(ii,JL)>PGV

güvenilir enerji ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa, aşama faydası

SPI(ii,JL)=((SPI(ii,JL)-PGV)*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 DYNAU' dan alt programı MFIRMU' ya gidilmesi

JS-durum değeri göstergesinde, son aşamadan ilk aşamaya kadar her bir durum değişkeninde karar değişkenleri ele alınıp en iyi çözümler elde edildikten sonra, alt program DYNAU' dan alt program MFIRMU' ya gidilmektedir. Burada ise, JS-durum değeri göstergesi altında oluşturulan eniyi çözümler arasından eniyisi seçilerek optimal işletme politikaları belirlenmektedir. Bununla ilgili ayrıntılara alt program MFIRMU anlatırken girilecektir.

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

A.1.2. Feasu (Alt Program)

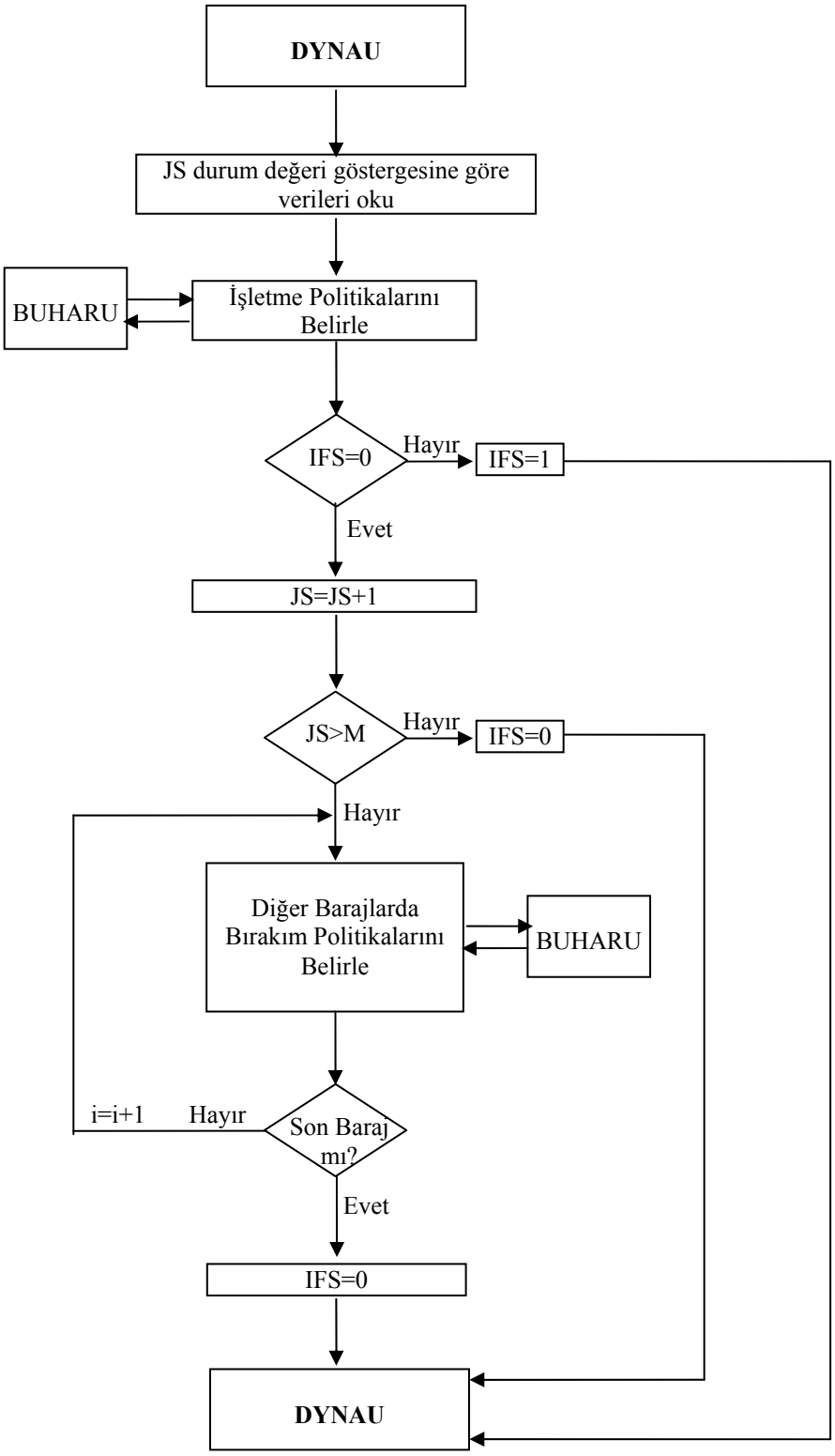
FEASU, DYNAU alt programının çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, bu programda JS-durum değişkeni göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni ve JL-karar değişkeni ikilisinin (IS, IQ) olurlu olup olmadığını belirlemeye yardımcı olan bir programdır. Bu alt programda, JS-durum değeri göstergesi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

Bu alt programda yapılan işlemler şöyledir. JS-durum değeri göstergesi ile gönderilen durum değişkeni ve karar değişkenleri kullanılarak, JS-durum değişkeni göstergesine karşılık gelen barajda işletme seviyesi belirlenmekte ve bu değer kapasite değerleri ile karşılaştırılarak IFS göstergesinin alacağı değer belirlenmektedir. 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 BUHARU' 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)-IG(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 A.4: Alt programın FEASU için genelleştirilmiş akış şeması

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

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

olarak elde edilmektedir. Buradan, alt program DYNAU' ya dönülerek JS-durum değeri göstergesine ait aynı ii-durum değişkeni ile JL-karar değeri, JL=JL+1 alınarak seçilip, alt program FEASU' ya tekrar gelindikten sonra, bu ikili 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)

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 BUHARU' ya gidilip alt program FEASU' ya dönüldükten sonra,

IR(i,k)=0
IQ(i,k)=JF(i,k)+IQ(i-1,k)+IR(i-1,k)+IS(i,k)-IS(i,k+1)-IG(i,k) (i=2,3,..M için)

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

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

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

A.1.3. Mfirmu (Alt Program)

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

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

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

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

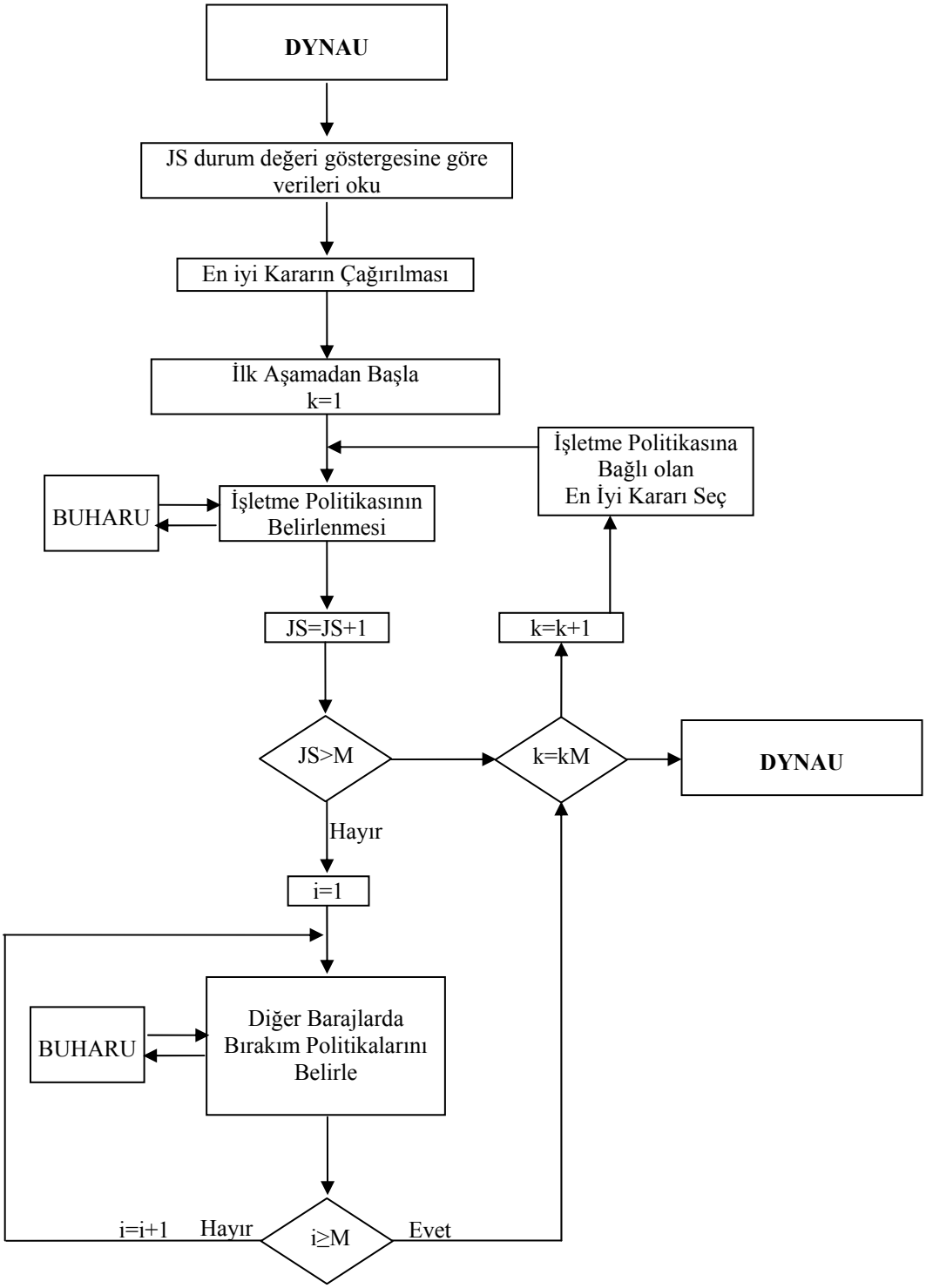
IR(JS, k)=0
IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k)-IG(JS,k) (JS=1 ve k=1 için)
IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IQ(JS-1,k)+IR(JS-1,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) (JS=2,3..M için)

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 A.5: Alt program MFIRMU için genelleştirilmiş akış şeması

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

olarak belirlenmekte ve buna göre en iyi karar değişkeni çözümü

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

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

JS<M

ise, diğer barajlara geçilerek, JS-durum değeri göstergesine ait karar değişkeni değerleri belirlenmektedir. Yani, JS-durum değeri göstergesi altında diğer barajlarda yapılan işlemler ise, 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 BUHARU' ya gidilip alt program MFIRMU' ya dönüldükten sonra,

IR(i,k)=0
IQ(i,k)=JF(i,k)+IQ(i-1,k)+IR(i-1,k)+IS(i,k)-IS(i, k+1)-IG(i,k) (i=2,3,..M için)

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

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

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

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

olarak ve bu değere göre en iyi karar değişkeni çözümü

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

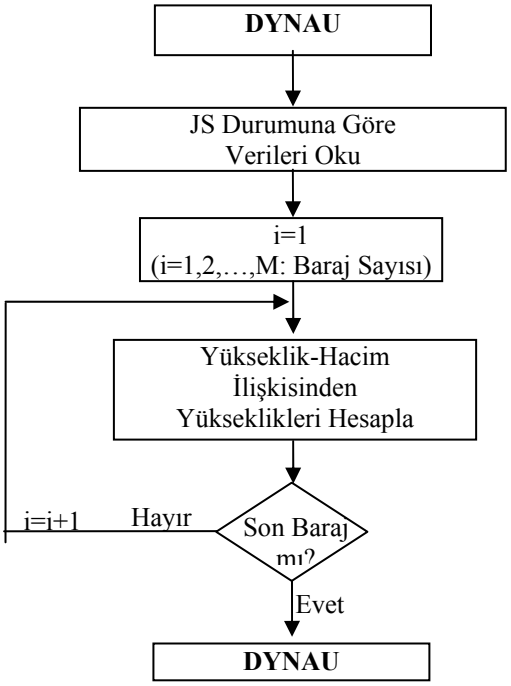
A.1.4. Hdatu (Alt Program)

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

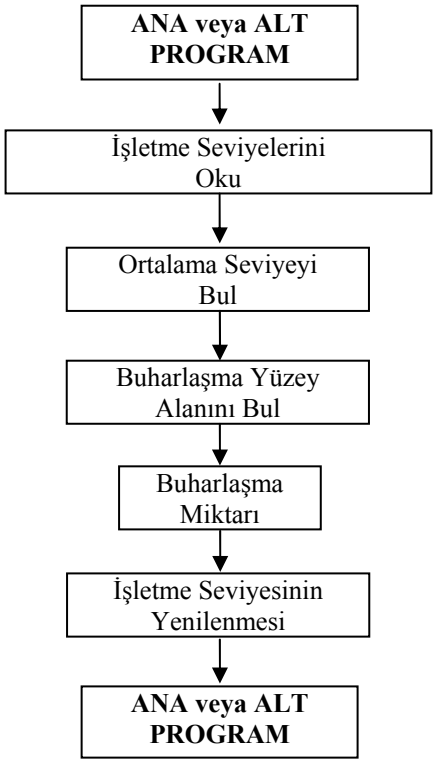
Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. Alt program DYNAU' da amaç fonksiyonu ile ilgili aşama faydasını belirlendiği yerde, JS-durum değeri göstergesine karşılık olan barajda herhangi bir ii-durum değişkenine ait depolanan su miktarına göre JSxii boyutunda yükseklik matrisinin oluşturulması için alt program HCEYHU' ya minimum ve maksimum depolanan su miktarları değerleri girdi olarak gönderilmektedir. Bu alt programda, bu değerler ile her bir barajda bulunan su miktarlarına karşılık gelen yükseklik değerleri, yükseklik-hacim eğrisinin oluşturduğu denklem ile hesaplanabilmektedir. Buradan alt program DYNAU' ya geri dönülmektedir.

A.1.5. Buharu (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 A.6: Alt program HDATU için genelleştirilmiş akış şeması



Şekil A.7: Alt program BUHARU 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 İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini, sırasıyla, Pereja İlköğretim okulu,Hüseyin Yıldız Anadolu lisesinde devam edip, 2005 yılında İzmit, Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu.2005 yılında,Beyaz İnşaat tur. san. tic. petrol ltd. şti.'de çalışmaya başladı.Halen Beyaz İnşaat'ta mühendis olarak çalışmaktadır.