

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ\*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE  
ÇOK AMAÇLI OPTİMAL İŞLETME**

**DOKTORA TEZİ**

**Y. Müh. Mücahit OPAN**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği  
Danışman: Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK**

**KOCAELİ, 2007**

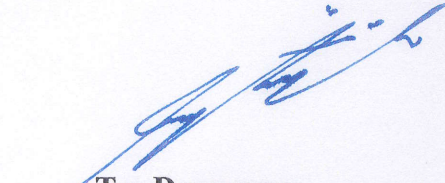
**ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE  
ÇOK AMAÇLI OPTİMAL İŞLETME**

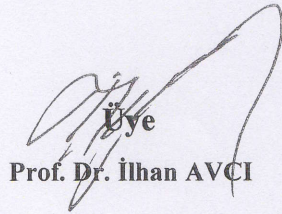
**DOKTORA TEZİ**

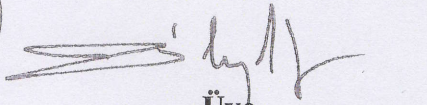
**Y. Müh. Mücahit OPAN**

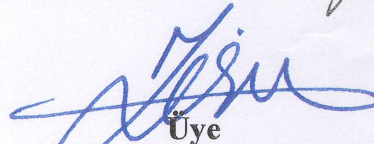
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:13.09.2007


Tezin Savunulduğu Tarih: 20.11.2007

  
Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK

  
Üye  
Prof. Dr. İlhan AVCI

  
Üye  
Prof. Dr. İsmail DURANYILDIZ

  
Üye  
Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ

  
Üye  
Yrd. Doç. Dr. Aydın KAVAK

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, çok amaçlı ve çok barajlı sistemlerin taşkın durumunda gerçek zamanlı optimal işletilmesi üzerinedir. Burada, gerçek zamanlı optimal işletme, hem enerji üretiminin enbüyüklenmesi hem de taşkın durumunda barajdan bırakılan akımların pik değerinin enküçüklenmesi açısından değerlendirilerek yapılmıştır.

Bu çalışma süresince, bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen ve tezimin son döneminde vefat (01 Eylül 2007) eden danışman hocam merhum Prof. Dr. Mahmut SERT' e ve Bölüm Başkanımız danışman hocam Prof. Dr. Ergün ÖZTÜRK' e teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen anneme, babama ve kardeşlerime, her zaman yanımda olan eşime ve oğluma en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca benden yakın ilgi ve desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Prof. Dr. Mahmut SERT' in anısına...

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	iv
TABLolar LİSTESİ .....	viii
SİMGELER .....	x
ÖZET .....	xiii
İNGİLİZCE ÖZET .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çok Barajlı Sistemlerde Çok Amaçlı Optimizasyon Kriterleri.....	1
1.2. Uzun ve Kısa Süreli Optimal İşletme Çalışmalarının Gerçek Zamanlı Optimal İşletmede Bütünleştirilmesi.....	2
1.3. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu .....	3
1.4. Kısa Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu.....	4
1.5. Gerçek Zamanlı İşletme Optimizasyonu.....	6
1.6. Benzetim Modeli ile Gerçek Zamanlı Optimal İşletme Modelinin Karşılaştırılması .....	9
1.7. Uygulama Amaçlı Olarak Ceyhan Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi.....	11
2. SU KAYNAKLARINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU .....	12
2.1. Giriş.....	12
2.2. Dinamik Programlama .....	13
2.2.1. Dinamik programlamada bilgisayar belleği ve zamanı.....	22
2.2.2. Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama .....	23
2.3. Gerçek Zamanlı Optimal İşletme ve Gelecek Akımların Tahmini .....	24
2.4. Kinematik Dalga Yaklaşımı.....	27
2.5. Modellemede Kullanılan Araç: MATLAB ile Programlama.....	28
2.5.1. MATLAB dili .....	31
2.5.2. Geliştirme ortamı .....	31
2.5.3. Grafik işlemleri .....	31
2.5.4. MATLAB matematiksel fonksiyon kütüphanesi .....	32
2.5.5. MATLAB uygulama programı arabirimi.....	32
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ .....	33
3.1. Sistemin Tanımlanması.....	33
3.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli.....	38
3.3. Kısa Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli .....	39
3.4. Gerçek Zamanlı Optimal İşletme Modeli .....	43
3.5. Benzetim Modeli.....	49
3.6. Akarsu Yatağında Taşkın Öteleme Üzerine Çeşitli Yaklaşımlar.....	51
3.6.1 Kinematik dalga modeli .....	53

4. CEYHAN HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ ..	61
4.1. Giriş.....	61
4.2. Buharlaşma Değerleri.....	67
4.3. Yükseklik-Hacim İlişkileri.....	67
4.4. Yükseklik-Alan İlişkileri.....	70
4.5. Barajlara gelen akımlar .....	70
4.6. Taşkın Hidrografları.....	78
5. CEYHAN HAVZASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLAR .....	80
5.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar .....	80
5.1.1. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modele giren veriler .....	80
5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler.....	81
5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler.....	87
5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler .....	88
5.2. Kinematik Dalga Modelinden Elde Edilen Sonuçlar .....	93
5.2.1. Modele giren veriler .....	93
5.2.2. Modelden çıkan veriler .....	94
5.3. Kısa Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar.....	98
5.3.1. Modele giren veriler .....	98
5.3.2. Modelden çıkan veriler .....	99
5.4. Gerçek Zamanlı Optimal İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar.....	102
5.4.1. Modele giren veriler .....	102
5.4.2. Modelden çıkan veriler .....	109
5.5. Benzetim Modelinden Elde Edilen Sonuçlar .....	116
5.5.1. Modele giren veriler .....	116
5.5.2. Modelden çıkan veriler .....	119
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR .....	130
EKLER.....	136
ÖZGEÇMİŞ .....	217

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci.....	4
Şekil 1.2: Kısa süreli optimal işletme süreci.....	4
Şekil 1.3: Gerçek zamanlı işletme optimizasyonu için sistemin akış şeması .....	8
Şekil 2.1: Dinamik programlamada aşamalar arası ilişkinin şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.2: Dinamik programlamada herhangi bir aşamasındaki durum değeri ve durum-karar değişkeninin şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.1: Birbirine seri bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü.....	33
Şekil 3.2: Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri ..	33
Şekil 3.3: Gerçek zamanlı optimal işletme çalışmalarının akış şeması .....	47
Şekil 3.4: Herhangi bir i-barajına ait benzetim işletme seviyesinin diğer işletme seviyeleri arasındaki yeri .....	50
Şekil 3.5: Kinematik dalga denkleminin çözümü için sonlu farklar gösterimi.....	56
Şekil 4.1: Ceyhan Havzası'nın şematik görünüşü.....	62
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...	63
Şekil 4.3: Menzelet Barajı'nın görüntüsü .....	64
Şekil 4.4: Kılavuzlu Barajı'nın görüntüsü .....	65
Şekil 4.5: Sır Barajı'nın görüntüsü.....	65
Şekil 4.6: Berke Barajı'nın görüntüsü.....	66
Şekil 4.7: Aslantaş Barajı'nın görüntüsü .....	66
Şekil 4.8: Menzelet Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri ...	68
Şekil 4.9: Kılavuzlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri ..	68
Şekil 4.10: Sır Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	68
Şekil 4.11: Berke Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	69
Şekil 4.12: Aslantaş Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri ..	69
Şekil 4.13: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar.....	77
Şekil 4.14: Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar.....	77
Şekil 4.15: Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 10.000 yıllık taşkın hidrografi [Açanal, 1993].....	78
Şekil 4.16: Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 100 yıllık PMF taşkın hidrografi [Açanal, 1993].....	78
Şekil 5.1: Menzelet Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	83
Şekil 5.2: Kılavuzlu Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	83
Şekil 5.3: Sır Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	83
Şekil 5.4: Berke Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi .....	84
Şekil 5.5: Aslantaş Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi.....	84
Şekil 5.6: Kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	85
Şekil 5.7: Menzelet Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi.....	89
Şekil 5.8: Kılavuzlu Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi.....	89
Şekil 5.9: Sır Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi .....	90
Şekil 5.10: Berke Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi .....	90

Şekil 5.11: Aslantaş Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi.....	90
Şekil 5.12: Aylık toplam güç değerleri .....	91
Şekil 5.13: Menzelet Barajı'ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	95
Şekil 5.14: Kılavuzlu Barajı'ndan bırakılan akımın Sır Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	95
Şekil 5.15: Sır Barajı'ndan bırakılan akımın Berke Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	96
Şekil 5.16: Berke Barajı'ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	96
Şekil 5.17: Menzelet Barajı'ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	97
Şekil 5.18: Kılavuzlu Barajı'ndan bırakılan akımın Sır Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	97
Şekil 5.19: Sır Barajı'ndan bırakılan akımın Berke Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	97
Şekil 5.20: Berke Barajı'ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri .....	98
Şekil 5.21: Menzelet Barajı'na havzasından gelen 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografi (Tasarım amaçlı taşkın hidrografi, 150 saatlik akım verileri) .....	99
Şekil 5.22: Taşkın durumunda, her bir barajdan bırakılan toplam akım miktarı .....	100
Şekil 5.23: Menzelet Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi.....	100
Şekil 5.24: Kılavuzlu Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi.....	101
Şekil 5.25: Sır Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi.....	101
Şekil 5.26: Berke Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi.....	101
Şekil 5.27: Aslantaş Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi.....	102
Şekil 5.28: Menzelet Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografi (içerisinde 100 yıllık PMF taşkın akım verileri bulunmakta) .....	104
Şekil 5.29: Kılavuzlu Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografi .....	104
Şekil 5.30: Sır Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografi.....	104
Şekil 5.31: Berke Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografi	105
Şekil 5.32: Aslantaş Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografi .....	105
Şekil 5.33: Menzelet Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi.....	105
Şekil 5.34: Kılavuzlu Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi.....	106
Şekil 5.35: Sır Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi.....	106
Şekil 5.36: Berke Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi.....	106
Şekil 5.37: Aslantaş Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi.....	107
Şekil 5.38: Menzelet Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi .....	107
Şekil 5.39: Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi ....	108
Şekil 5.40: Sır Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi .....	108
Şekil 5.41: Berke Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi .....	108
Şekil 5.42: Aslantaş Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi .....	109
Şekil 5.43: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyesi .....	111
Şekil 5.44: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na ait işletme seviyesi .....	111

Şekil 5.45: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na ait işletme seviyesi.....	111
Şekil 5.46: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na ait işletme seviyesi.....	112
Şekil 5.47: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na ait işletme seviyesi .....	112
Şekil 5.48: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi .....	112
Şekil 5.49: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi .....	113
Şekil 5.50: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi .....	113
Şekil 5.51: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi .....	113
Şekil 5.52: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi .....	114
Şekil 5.53: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na ait güç değerleri .....	114
Şekil 5.54: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na ait güç değerleri .....	114
Şekil 5.55: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na ait güç değerleri .....	115
Şekil 5.56: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na ait güç değerleri .....	115
Şekil 5.57: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na ait güç değerleri .....	115
Şekil 5.58: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, toplam saatlik güç değerleri .....	116
Şekil 5.59: Menzelet Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi .....	117
Şekil 5.60: Kılavuzlu Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi.....	118
Şekil 5.61: Sır Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi.....	118
Şekil 5.62: Berke Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi.....	118
Şekil 5.63: Aslantaş Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi.....	119
Şekil 5.64: Benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyesi.....	121
Şekil 5.65: Benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na ait işletme seviyesi.....	121
Şekil 5.66: Benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na ait işletme seviyesi..	121
Şekil 5.67: Benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na ait işletme seviyesi .....	122
Şekil 5.68: Benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na ait işletme seviyesi.....	122
Şekil 5.69: Benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi .....	122
Şekil 5.70: Benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi .....	123
Şekil 5.71: Benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na havzasından gelenakım hidrografi.....	123



Şekil 5.72: Benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi.....	123
Şekil 5.73: Benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi.....	124
Şekil 5.74: Benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na ait güç değerleri .....	124
Şekil 5.75: Benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na ait güç değerleri .....	124
Şekil 5.76: Benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na ait güç değerleri .....	125
Şekil 5.77: Benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na ait güç değerleri .	125
Şekil 5.78: Benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na ait güç değerleri .....	125
Şekil 5.79: Benzetim modeline göre işletmede, toplam saatlik güç değerleri .....	126

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1: Ceyhan Havzası'nda nehrin ana kolu üzerinde birbirine seri bağlı bulunan barajlara ait veriler [Akbulut, 2003].....	64
Tablo 4.2: Baraj aksından aksına Ceyhan Nehri'nin uzunluğu.....	66
Tablo 4.3: Ceyhan Havzası'ndaki çok barajlı su kaynakları sisteminin işletilmesi sırasında kullanılan buharlaşma değerleri (mm/ay) [Akbulut, 2003] .....	67
Tablo 4.4: Uzun süreli işletmede, çok barajlı su kaynakları sisteminde yükseklik hacim ilişkisi parametreleri ( $h=a.V^n$ , $h$ (m), $V$ ( $10^7 m^3$ )).....	69
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)).....	70
Tablo 4.6: Menzelet Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ( $m^3/s$ ) [Akbulut, 2003].....	71
Tablo 4.7: Kılavuzlu Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ( $m^3/s$ ) [Akbulut, 2003].....	72
Tablo 4.8: Sır Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ( $m^3/s$ ) [Akbulut, 2003] .....	73
Tablo 4.9: Berke Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ( $m^3/s$ ) [Akbulut, 2003].....	74
Tablo 4.10: Aslantaş Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ( $m^3/s$ ) [Akbulut, 2003].....	75
Tablo 4.11.a: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar ( $m^3/s$ )....	76
Tablo 4.11.b: 1973-1974 yılları arasındaki kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ( $m^3/s$ ).....	76
Tablo 5.1: Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar .....	80
Tablo 5.2: Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri .....	81
Tablo 5.3: Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları... 81	
Tablo 5.4: Barajlardaki aylık buharlaşma değerleri, (mm/ay).....	81
Tablo 5.5: Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları .....	82
Tablo 5.6: Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları.....	82
Tablo 5.7: Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri .....	82
Tablo 5.8: Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	85
Tablo 5.9: Ceyhan Havzası'ndaki sisteme ait barajların güvenilir güç değerleri, $P_G$ , (MW).....	86
Tablo 5.10: Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar .....	87
Tablo 5.11: Barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları.....	88
Tablo 5.12: Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları.....	89
Tablo 5.13: Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri .....	89
Tablo 5.14: Barajların aylık güç değerleri .....	91
Tablo 5.15: Ceyhan Havzasındaki sisteme ait barajların ortalama güç değerleri, $P_{ort}$ , (MW).....	92
Tablo 5.16: Barajlar arası akarsu kesitinin ve yatağının özellikleri.....	93

Tablo 5.17: Barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak .....	98
maksimum toplam akım miktarları .....	98
Tablo 5.19: Barajlardaki optimal taşkın kontrol seviyeleri ( $f=150$ saat, $t=12.$ ay içinde).....	102
Tablo 5.20: Barajlara havzasından gelen ortalama akım miktarları .....	103
Tablo 5.21: Haziran ayına ait barajlardaki aylık normal, minimum işletme ve optimal taşkın kontrol seviyeleri (720 saatlik, $t=12.$ ay).....	107

## 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  
 $S_{i,t}^{Taş}$  : i-barajında t-zamandaki optimal taşkın kontrol 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),  
 $(F_{i,f})_t$  : i-barajının havzasından t-ayında f-saatinde gelen akım miktarı  
 $(Q_{i,f})_t$  : i-barajından t-ayında f-saatinde enerji üretimi için bırakılacak akım miktarı  
 $(R_{i,f})_t$  : i-barajında t-ayında f-saatinde dolu savaktan bırakılacak akım miktarı  
 $(S_{i,f})_t$  : i-barajında t-ayında f-saatindeki işletme seviyesi  
 $(S_{i,f}^{Taş})_t$  : i-barajında t-ayında f-saatindeki taşkın kontrol seviyesi

- $(S_{i,f}^{Ben})_t$  : i-barajında t-ayında f-saatindeki benzetim işletme seviyesi
- $(S_{i,f}^G)_t$  : i-barajında t-ayında f-saatindeki ilave hacimli taşkın kontrol seviyesi
- $S_i^d$  : Başlangıç işletme seviyesi için i-barajındaki seviyedeki düzeltme miktarı
- $P_{i,t}$  : i-barajında t-zamanda elde edilen ortalama güç
- $P_{i,t}^{Ac}$  : i-barajında t-zamanda enerji açık miktarı
- $P_{ki}$  : 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
- $\alpha_i^{Ger}$  : i-barajına ait gerçek seviye düzeltme katsayısı
- $\alpha_i^{Tah}$  : i-barajına ait tahmini seviye düzeltme katsayısı
- $\alpha_{i,Ort}^{Tah}$  : i-barajına ait ortalama tahmini düzeltme katsayısı
- $F_{i,k}^{Tah}$  : i-barajına havzasından k-zamanda (saat olarak) gelen tahmini akım miktarı
- $\alpha_i^d$  : i-barajına ait seviye düzeltme faktörü
- $Q$  : Akarsu yatağındaki ortalama debi
- $q$  : Akarsu yatağındaki yanal akış miktarı
- $A$  : Akarsu yatağında ortalama kesit alanı
- $P$  : Akarsu yatağında ortalama ıslak çevre
- $R$  : Hidrolik yarıçap
- $n$  : Manning katsayısı, (Akarsu yatağı sürtünme katsayısı)
- $g$  : Yerçekimi ivmesi
- $S_o$  : Akarsu yatağında taban eğimi
- $S_f$  : Akarsuda su yüzeyinin eğimi, hidrolik eğim
- $\alpha, \beta$  : Kinematik dalga yaklaşımında kullanılan akım parametreleri

### 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 artırımılı dinamik programlama (Incremental dynamic programming with successive approximations)  
MIDP :Çok-seviyeli artırımılı dinamik programlama (Multilevel incremental dynamic programming)  
SDP :Stokastik Dinamik Programlama (Stochastic Dynamic Programming)  
LOG :Ayrık-Zaman Doğrusal Quatratic Gaussian Kontrol (Discrete-time Linear Quatratic Gaussian Control)  
ELOG :Genişletilmiş ELOG (Extended ELOG)

## ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE ÇOK AMAÇLI OPTİMAL İŞLETME

**Mücahit OPAN**

**Anahtar kelimeler:** Su Kaynaklarının Planlaması, Çok Barajlı Çok Amaçlı Sistemler, Uzun ve Kısa Süreli Optimal İşletme, Gerçek Zamanlı Optimal İşletme, Taşkın Kontrolü, 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. Sistem üzerine uzun ve kısa süreli planlama için işletme optimizasyonu modelleri, gerçek zamanlı optimal işletme modeli ve benzetim modeli kurulmuştur. Benzetim modeli hariç diğer modellerde, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmıştır.

Kurulan bütün modeller, Ceyhan Havzası'nda Ceyhan Nehri ana kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemine uygulanmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar, hem enerji üretiminin enbüyüklenmesi hem de taşkın durumunda barajdan bırakılan akımların pik değerinin enküçüklenmesi açısından değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, uzun süreli işletme modeli ile elde edilen güvenilir güç, ampirik denklemlerle elde edilen değerden % 13 ve ortalama güç ise, % 153 kadar daha iyi olarak bulunmuştur. Benzetim modeli, toplam enerji üretimi bakımından, gerçek zamanlı optimal işletme modeline göre % 2.43 kadar daha iyi sonuç vermiştir. Gerçek zamanlı optimal işletme modeli barajdan bırakılan akımların toplamı bakımından, benzetim modeline göre % 40,3 kadar daha iyi bir sonuç üretmiştir. Ayrıca, taşkın zararı parasal olarak ifade edilebildiği takdirde, elde edilecek net fayda bakımından gerçek zamanlı optimal işletme modeli, benzetim modelinden daha iyi sonuçlar üreteceği düşünülebilir.

## MULTIOBJECTIVE OPTIMAL OPERATION IN MULTIPLE RESERVOIR SYSTEMS

Mücahit OPAN

**Keywords:** Water Resources Planning, Multiple Reservoir Multiobjective Systems, Long and Short Term Optimal Operation Real Time Optimal Operation, Flood Control, 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 multiobjectival and multiple reservoir is described. Optimal operational models for long and short term planning, real time optimal operational model and simulation model are established on it. The technique of dynamic programming with successive approximations is used in other models, except simulation model.

All of the models are applied to a water resources system with multiobjectival and multiple reservoir presented successively on the main line of the Ceyhan River in the Ceyhan Basin. Results obtained are evaluated to both the maximization of the energy production and the minimization the peak value of the flow data released from reservoirs in flood case.

Accordingly, the firm energy obtained from the optimal operational model for long term planning is presented %13 better than the value determined by ampric equations, and also the average energy in the same model is % 153. Simulation model for the total production of energy is resulted %2.43 better than real time optimal operational model. According to total of inflows released from reservoirs, real time optimal operational model is generated % 153 better than simulation model. In fact, providing that flood damage is described as financial, real time optimal operational model may present better results than simulation model.



## 1. GİRİŞ

### 1.1. Çok Barajlı Sistemlerde Çok Amaçlı Optimizasyon Kriterleri

Çok barajlı sistemlerin çok amaçlı optimal işletmesi, oluşan şartlara en uygun olarak gerçek zamanlı bir çerçevede ele alınabilir. Fakat sistemin işletme stratejilerinin belirlenebilmesi için, uzun ve kısa süreli planlama çalışmalarının özenle bütünleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çok barajlı sistemlerin uzun süreli planlaması, sistemin ekonomik ömrü boyunca elde edilecek faydanın optimal olmasını amaçlamaktadır. Dolayısıyla, sistemin optimal olarak boyutlandırılması ve uzun süreli optimal işletme politikaları ile bunlara karşılık olan risklerin belirlenmesi, bir bütün olarak uzun süreli planlama çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu kapsamda gözetilecek amaçların enerji üretimi (güvenilir enerji ve toplam enerji), sulama, kirlilik kontrolü, ekolojik dengenin korunması ve ulaşım gibi alanlarda, daha çok aylık ortalama akımlar veya kritik dönem akımları ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Çok barajlı sistemlerde taşkın kontrolü veya kuraklık kontrolü (düşük akımların takviyesi) gibi amaçlar, tekerrür aralığı bakımından uzun süreli planlamanın parçası olarak görülse de, bu olayların sistem tarafından yönetilmesi, kısa süreli (çoğunlukla saatlik veya günlük akımlar olarak) bir işletme optimizasyonunda ele alınmak zorundadır.

Sistemin gerçek zamanlı optimal işletme stratejilerinin belirlenmesi, uzun ve kısa süreli optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçların bütünleştirilerek gerçek zamanlı bir çerçevede en uygun şekilde kullanılmasına bağlıdır. Burada, geliştirilen sistem, güvenilir enerji ve toplam enerji faydasının enbüyüklenmesi ile taşkın kontrolü amaçlarına yöneliktir. Şüphesiz, aynı çerçeve diğer amaçlar için de kullanılabilir.

## 1.2. Uzun ve Kısa Süreli Optimal İşletme Çalışmalarının Gerçek Zamanlı Optimal İşletmede Bütünleştirilmesi

Burada sunulan çalışmada, çok barajlı bir sistemin uzun süreli optimal işletme politikalarının (normal işletme seviyeleri) aylık ortalama akımlarla üretilen toplam enerjiyi enbüyükleyecek şekilde elde edilmesi öngörülmüştür. Daha ileri aşamada, diğer amaçları da dikkate alarak, bu işlemin sistemin toplam faydasını gözeterek yapılması da mümkündür. Aynı şekilde, gözlenmiş kurak dönemin aylık akımları ile güvenilir güç enbüyüklenebilir, (minimum işletme seviyeleri), (Sert, 1983; Sert, 1986; Sert, 1987).

Kısa süreli işletme, optimal taşkın kontrolü çerçevesinde ele alındığında, sisteme girdiği düşünülen tasarım amaçlı bir taşkın hidrografının, taşkının pik değerini akarsu yatağı için emniyetli debinin altında tutacak şekilde sistem tarafında ötelenmesi ve aynı zamanda sistemden beklenen optimal faydanın (enerji üretimi v.s.) sağlanması söz konusu olacaktır. Taşkın hidrografi sisteme, akarsu debisinin zamanla değişimi şeklinde veri olarak girilecektir. Bu durumda diğer ara (barajlar arasındaki) havzalardan beklenen akımlar da (ara havza hidrografları) taşkın hidrografları ile birlikte veri olarak girilecektir. Eğer sistemi oluşturan barajlar arasındaki havzalar oldukça büyükse (veya büyük debili akarsu kolları mevcutsa) sisteme giriş için seçilen taşkın hidrograflarından farklı bir ara havza hidrografi, sistemin taşkın kontrolü işlevini yerine getirmesi açısından daha kritik bir durum arz edebilir. Bu durumda, ara havzalar için seçilen taşkın hidrograflarının da göz önünde bulundurulması ile sistem için belirli bir tekerrür aralığında en kritik taşkın durumunu belirlemek gerekir. Diğer taraftan, taşkın kontrolü için elde edilen kısa süreli optimal işletme politikalarının, sistemin uzun süreli işletme politikaları ile bütünleştirilmesi açısından, yılın taşkın olması muhtemel değişik ayları için taşkın hidrografları kullanılabilir. Buradan elde edilen baraj kritik su seviyelerinin sistemin uzun süreli aylık optimal işletme politikaları ile birlikte göz önünde tutulması gerekecektir.

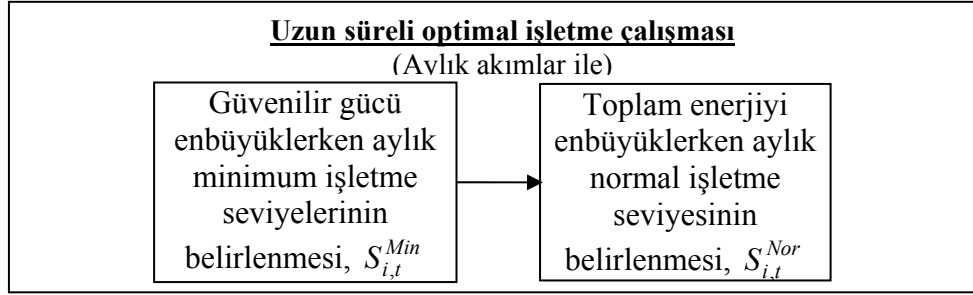
Burada, belirli bir ay için girilen tasarım amaçlı taşkın hidrografının pik debisinin enküçüklenmesi amaç fonksiyonu olarak tanımlanırken, barajdan toplam debi

çıkışının (enerji üretimi için ve savaklanan) mansap için emniyetli debinin altında olması kısıtı konulmaktadır. Normal işletme seviyesi üzerinde varsayılan ek taşkın kontrol hacmine rağmen, eğer bu kısıtı sağlayan çözüm elde edilemezse, bu defa, söz konusu kısıt serbest bırakılarak, taşkın pikinin enküçüklenmesini amaçlayan çözüm yenilenir. Burada, kullanılan ek hacim, daha sonra normal işletme seviyelerinden düşülerek, taşkın kontrol seviyesi belirlenmiş olmaktadır. Bu durumda, baraj emniyetinin sağlanması öncelikli olmakta, mansaba bırakılan maksimum debi, “zorunlu” bir zarar düzeyini göstermektedir, (Sert, 1987). Ayrıca her ay için optimal faydayı sağlayan normal işletme seviyelerinin yanında, taşkın kontrolü bakımından emniyetli seviyeler belirlenmiş olmaktadır.

Gerçek zamanlı optimal işletmede, taşkın ihtimalinin oluşması ile, barajlardaki her ay için belirlenmiş normal işletme seviyelerinden kademeli olarak taşkın kontrol seviyelerine düşülmesi öngörülmektedir. Gerçek zamanlı optimal işletme stratejilerinin belirlenmesinde, bir taraftan bu husus gözetilirken, diğer taraftan da enerji üretiminin optimal düzeyde gerçekleşmesi amaçlanacaktır. Ayrıca, gerçek zamanlı optimal işletmenin mantığı, benzetim modeli ile değerlendirilecektir.

### **1.3. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu**

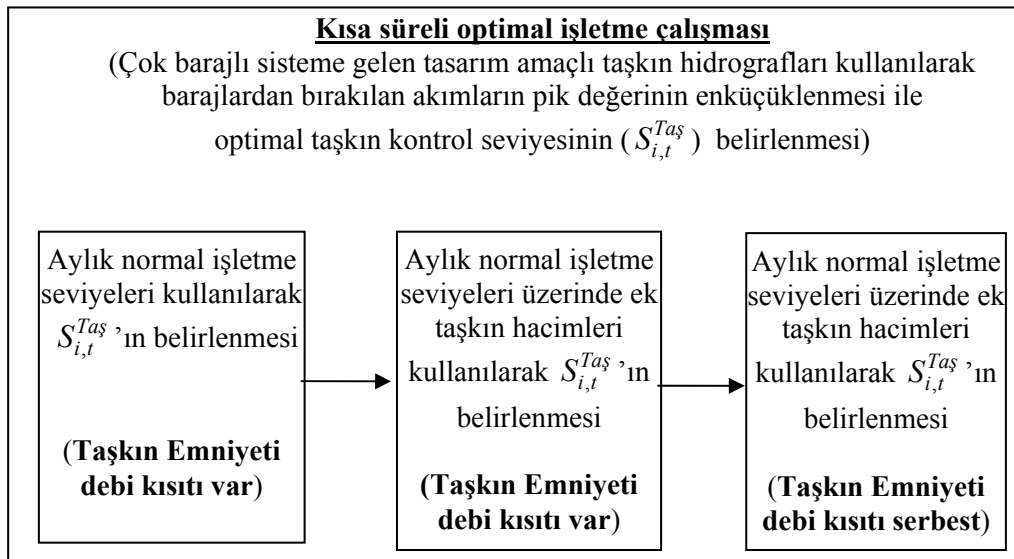
Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA) optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada, kritik dönemin (kurak dönem) aylık akımları kullanılarak güvenilir güç enbüyüklenmekte ve aylık minimum işletme seviyeleri ( $S_{i,t}^{Min}$ ) elde edilmektedir. Buradan enbüyüklenen güvenilir güç, aynı modelde kısıt olarak kullanılıp, 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. Kısa Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu

Kısa süreli planlama için işletme optimizasyonunda, ardışık yaklaşıklamalı dinamik programlama (DPSA) optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Barajlara havzasından gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografi akım verileri ile, taşkın emniyeti debi kısıtı ve ek taşkın kontrol hacmi kullanılması durumuna göre barajdan bırakılan akımlar enküçüklenmekte ve aynı zamanda sistemden beklenen optimal faydaya (enerji üretimi v.s.) ulaşılmaya çalışılmaktadır. Burada, kullanılan ek taşkın kontrol hacimleri, işletme sonucu elde edilen işletme seviyelerinden düşülerek optimal taşkın kontrol seviyeleri belirlenmektedir. Şekil 1.2’de, kısa süreli optimal işletme süreci gösterilmektedir.



Şekil 1.2: Kısa süreli optimal işletme süreci

Bu süreçte izlenen adımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çok barajlı sistemde uzun süreli optimizasyon sonucu belirlenen aylık normal işletme seviyeleri, minimum ve maksimum işletme seviyeleri ( $S_i^{Min}$ ,  $S_i^{Maks}$ ) arasında değişmektedir. Taşkın durumunda, çok barajlı sisteme gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografları, bu aylık normal işletme seviyelerinde ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) karşılanmakta ve taşkın emniyeti için mansapta debi kısıtı ile barajdan bırakılan akımın pik değerinin enküçüklenmesine çalışılmaktadır. Bu şekilde, taşkın kontrol seviyeleri ( $(S_{i,f}^{Taş})_t$ ) elde edilmektedir. Burada,  $f=1,2,3\dots TM$ ,  $TM$ : Taşkın kontrol zamanını (saat veya gün olarak) göstermektedir.  $(S_{i,f}^{Taş})_t$  değerlerinden en küçük olanı, söz konusu ay için optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Taş}$ ) olarak alınmaktadır.

2. Bu çözüm gerçekleşmiyorsa, aylık normal işletme seviyesi ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) için maksimum işletme seviyesi ( $S_i^{Maks}$ ) üzerine ek taşkın kontrol hacmi ilave edilmelidir. Bu ek hacim, aylık normal işletme seviyesi ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) ile minimum işletme seviyesi ( $S_i^{Min}$ ) arasındaki fark kadar olmalıdır. Böylelikle, maksimum işletme seviyesi, ek taşkın kontrol hacmi ile büyütülerek aylık normal işletme seviyesi üzerinde ek taşkın kontrol hacmi elde edilmiş olmaktadır. Böylece, barajlara gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografları, başlangıçta aylık normal işletme seviyesi ile karşılanmakta ve aynı zamanda mansapta taşkın emniyeti için konulan kısıt altında barajdan bırakılan akımın enküçüklenmesine çalışılmaktadır. Bu şekilde elde edilen işletme seviyelerinden kullanılan ek taşkın kontrol hacmi düşülerek taşkın kontrol seviyeleri ( $(S_{i,f}^{Taş})_t$ ) bulunmaktadır.  $(S_{i,f}^{Taş})_t$  değerlerinden en küçük olanı, söz konusu ay için optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Taş}$ ) olarak alınmaktadır.

3. Bu şekilde de çözüme ulaşılamıyorsa, taşkın emniyeti için debi kısıtı serbest bırakılarak, taşkın pik debisini, dolayısıyla, taşkından oluşacak zararı enküçükleyecek akımın bırakılmasına çalışılmaktadır. Buradan elde edilecek işletme

seviyelerinden ek taşkın kontrol hacmi düşülerek taşkın kontrol seviyeleri ( $(S_{i,f}^{Taş})_t$ ) belirlenmektedir.  $(S_{i,f}^{Taş})_t$  değerlerinden en küçük olanı, söz konusu ay için optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Taş}$ ) olarak alınmaktadır.

4. Kısa süreli işletme optimizasyonunda zaman dilimi olarak saat (veya özel durumlarda gün) kullanıldığı için akımların akarsu yatağında ötelenerek baraj aksına taşınmasında kullanılacak bir yaklaşıma gerek vardır. Akarsu yatağında akım öteleme üzerine kinematik dalga, dinamik dalga ve Muskingam gibi yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada, akımların baraj aksına taşınmasında kinematik dalga modeli kullanılmaktadır. Kinematik dalga modelinde, St. Venant denklemlerindeki ivme ve basınç terimleri ihmal edildiğinden, dalga hareketi, sadece süreklilik denklemi ile tanımlanmaktadır.

### 1.5. Gerçek Zamanlı İşletme Optimizasyonu

Gerçek zamanlı işletme optimizasyonu, uzun ve kısa süreli planlama için işletme optimizasyonlarına, havzadan gelebilecek akımın tahmin edilmesine, barajlardan bırakılan akımların diğer barajlara taşınmasına bağlı olarak yapılmaktadır. Bu işletme optimizasyonunda, sırasıyla, akımların tahmin edilmesi, başlangıç işletme seviyesinin belirlenmesi, barajdan bırakılacak optimal bırakım değerinin seçilmesi, seçilen optimal bırakım değeri ile bir sonraki zaman diliminde seviyenin bulunması, bırakılan akımın diğer baraj aksına akarsu yatağında ötelenerek taşınması yer almaktadır. Şekil 1.3' de, gerçek zamanlı işletme optimizasyonu için sistemin akış şeması şematik olarak gösterilmektedir.

Gerçek zamanlı işletme optimizasyonuna girilen veriler:

1. Aylık normal işletme seviyeleri ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) ve aylık minimum işletme seviyeleri ( $S_{i,t}^{Min}$ )
2. Optimal taşkın kontrol seviyeleri ( $S_{i,t}^{Taş}$ )

3. Barajlara havzasından gelebileceği öngörülen tasarım amaçlı taşkın verilerinin bulunduğu akım hidrografları  $((F_{i,f})_t)$

4. Akım öteleme verileri

şeklinde sıralanabilir.

Bu veriler kullanılarak, gerçek zamanlı işletme optimizasyonu süreci aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Barajlara havzasından gelen akımların taşkın ihtimali oluşturma durumu:

Barajlara havzasından gelebilecek akımların taşkın ihtimali oluşturma durumu, akım tahmin modelinden gelen akım verilerinin tasarım amaçlı taşkın hidrografları ile birlikte değerlendirilmesi ile belirlenebilir. Bu değerlendirme sonucu seviye düzeltme faktörü elde edilmektedir. Seviye düzeltme faktörünün taşkın ihtimalini oluşturma için öngörülen değeri aşıldığı zaman, taşkın kontrol amacını da içeren gerçek zamanlı işletmeye geçilmesine karar verilmektedir.

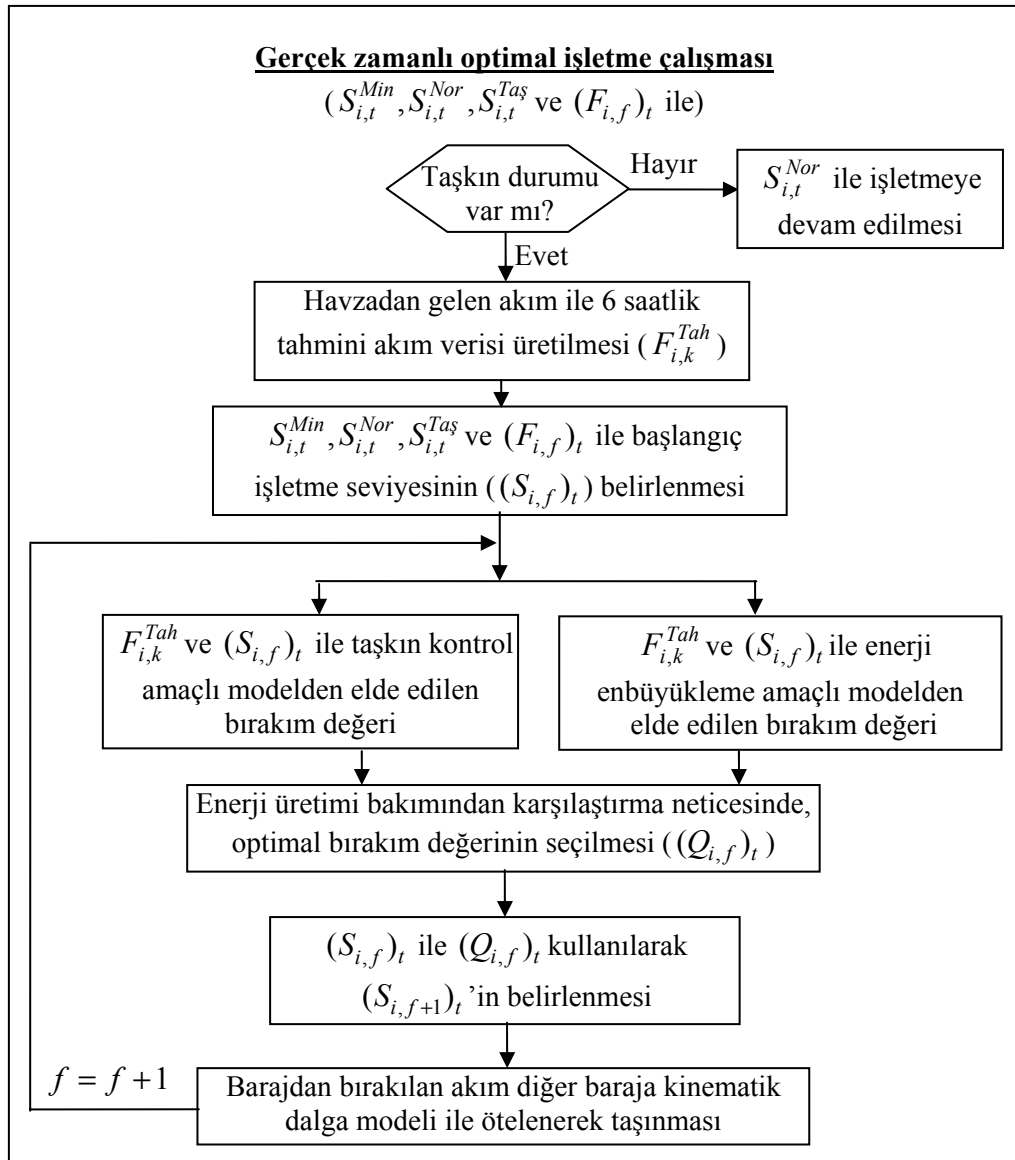
2. Havzadan gelebilecek akımın tahmin edilmesi:

Barajlara havzasından gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografındaki akım verileri  $((F_{i,f})_t)$  kullanılarak, her bir baraj için 6 adet saatlik tahmini akım verisi  $(F_{i,k}^{Tah})$  üretilmektedir. Burada,  $k=1,2,\dots,6$  saat olarak zamanı göstermektedir.

3. Barajlardaki başlangıç işletme seviyelerinin belirlenmesi:

Taşkın oluşmaması durumunda, barajların normal işletme seviyesinde işletilmesi esas alınmaktadır. Taşkın ihtimali oluştuğunda, kademeli olarak taşkın işletme seviyesine düşülecektir. Bunun için, tahmini akım değerlerinin  $(F_{i,k}^{Tah})$  tasarım amaçlı taşkın hidrografı  $((F_{i,f})_t)$  akım değerlerine oranlanması sonucunda seviye düzeltme katsayısı  $(\alpha_i^d)$  belirlenmektedir. Aylık normal işletme seviyesi  $(S_{i,t}^{Nor})$  ile

optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Tas}$ ) arasındaki fark seviye düzeltme katsayısı ile çarpılarak seviye düzeltme miktarı ( $S_i^d$ ) bulunmaktadır. Aylık normal işletme seviyesinden bu düzeltme miktarı düşülerek başlangıç işletme seviyeleri ( $(S_{i,1})_t$ ) belirlenmektedir. Başlangıç işletme seviyesi belirlendikten sonra, takip edilecek süreç aşağıda gibi devam etmektedir:



Şekil 1.3: Gerçek zamanlı işletme optimizasyonu için sistemin akış şeması



4. İşletme seviyesi  $((S_{i,f})_t)$  ve tahmini akım değerleri  $(F_{i,k}^{Tah})$ , hem taşkın kontrol hem de enerji amaçlı optimizasyon modellerinde kullanılarak elde edilen optimal bırakım değerlerinin belirlenmesi
5. Elde edilen bırakım değerlerinin enerji üretimi bakımından karşılaştırılması ve büyük enerji üretimi veren optimal bırakım değerinin  $((Q_{i,f})_t)$  seçilmesi
6. Seçilen bırakım değeri  $((Q_{i,f})_t)$  ile başlangıç işletme seviyesi  $((S_{i,f})_t)$  kullanılarak bir sonraki zaman dilimi için işletme seviyesinin  $((S_{i,f+1})_t)$  belirlenmesi
7. Ayrıca, seçilen bırakım değerinin, diğer baraja akarsu yatağında kinematik dalga modeli ile ötelenerek taşınması ve baraja havzasından gelen akım değeri üzerine ilave edilmesi şeklindedir.

Böylece, olası taşkın durumunda hem taşkından oluşabilecek zararları en aza indirgeyecek hem de optimal enerji üretimini sağlanabilecek şekilde belirlenen işletme kuralları gözetilerek gerçek zamanlı optimal işletme yapılabilmektedir.

#### **1.6. Benzetim Modeli ile Gerçek Zamanlı Optimal İşletme Modelinin Karşılaştırılması**

Çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminde, gerçek zamanlı işletme optimizasyonunu mantığı ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi amacıyla, bir benzetim modeli ile yapılacak işletmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Benzetim modeli ile yapılan işletmede, çok barajlı sisteme gelebileceği öngörülen tasarım amaçlı taşkın hidrografları, benzetim işletme seviyeleri ile karşılanmakta ve barajlardan bırakılan akımların baraj aksına taşınmasında kinematik dalga modeli kullanılmaktadır. Benzetim modeli ile yapılan işletmede, işletme kuralları şöyledir:

1. Çok barajlı sistemde, barajlara havzalarından gelen tasarım amaçlı taşkın verilerinin bulunduğu hidrografların akım verileri, benzetim işletme seviyeleri ile karşılanmalıdır.
2. Barajlardan bırakılacak debi en az güvenilir enerjiyi sağlayacak kadar olmalıdır.
3. Güvenilir enerji üretimi sağlanıncaya kadar benzetim işletme seviyelerinden optimal taşkın kontrol seviyesine kadar inilmelidir.
4. Güvenilir enerji sağlanmıyorsa, aylık minimum işletme seviyesine kadar inilmelidir.
5. Güvenilir enerji tekrar sağlanmıyorsa, enerji açık miktarı bulunmalıdır.
6. Barajlardan bırakılan akımlar akarsu yatağında kinematik dalga modeli ile ötelenerek diğer baraj aksına taşınmalı ve burada havzadan gelen akım üzerine ilave edilmelidir.

Burada kullanılan benzetim işletme seviyeleri şu şekilde belirlenmektedir.

1. Çok barajlı sistemde her bir barajdaki aylık akım, taşkın durumunun görüldüğü ayda, barağa öngörülen işletme zamanı boyunca havzasından gelen saatlik akım verilerinin ortalaması esas alınarak elde edilmektedir.
2. Buradan, elde edilen aylık akım ile aylık ortalama akım arasındaki fark belirlenmektedir.
3. Bu fark miktarı, aylık normal işletme seviyesinden düşülerek, benzetim işletme seviyesinin başlangıç işletme değerleri bulunmaktadır.
4. Bu elde edilen başlangıç işletme değerleri üzerine havzadan gelen saatlik akım verileri, her bir zaman diliminde eklenerek, benzetim işletme seviyesinin diğer işletme değerleri elde edilmektedir.

Benzetim modelinde, benzetim işletme seviyeleri yerine aylık normal işletme seviyeleri kullanıldığında, model, sadece enerji üretimi bakımından gerçek zamanlı işletme optimizasyonuna göre daha yakın sonuçlar üretmektedir. Bu nedenle, modelde benzetim işletme seviyeleri kullanıldığı zaman, hem enerji üretimi hem de taşkın kontrolü bakımından gerçek zamanlı işletme optimizasyonu ile elde edilen sonuçlara yaklaşılabilmektedir.

## **1.7. 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.

Burada, akım miktarı ve zaman boyutu, sırasıyla, uzun süreli işletme modelinde,  $10^7$  m<sup>3</sup> ve ay; kısa süreli, gerçek zamanlı işletme ve benzetim modellerinde,  $10^6$  m<sup>3</sup> ve saat 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 ulaşılabilmesi için sistem konfigürasyonu, boyutlandırılması ve işletilmesinin planlanması birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca, sistemde bulunan bazı tesislerin inşaat halinde olmaları, planlama süreci içerisine 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 hidrografi 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 sağlamak ve problemi oldukça çözümü kolay bir hale getirmektedir.

Dinamik programlamada üç değişken tipi vardır. Bunlar;

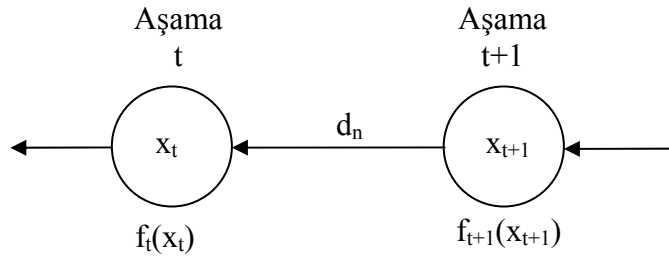
1. Sistemin davranışını olduğu gibi tanımlayan ve sistemin herhangi bir andaki durumunu gösteren durum (state) değişkenleri, (( $x$ ), sistemde barajın işletme seviyesidir.)

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;

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

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 ( $t=1,2,3,\dots$ ), dikey eksen durum değerini, dikey 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;

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

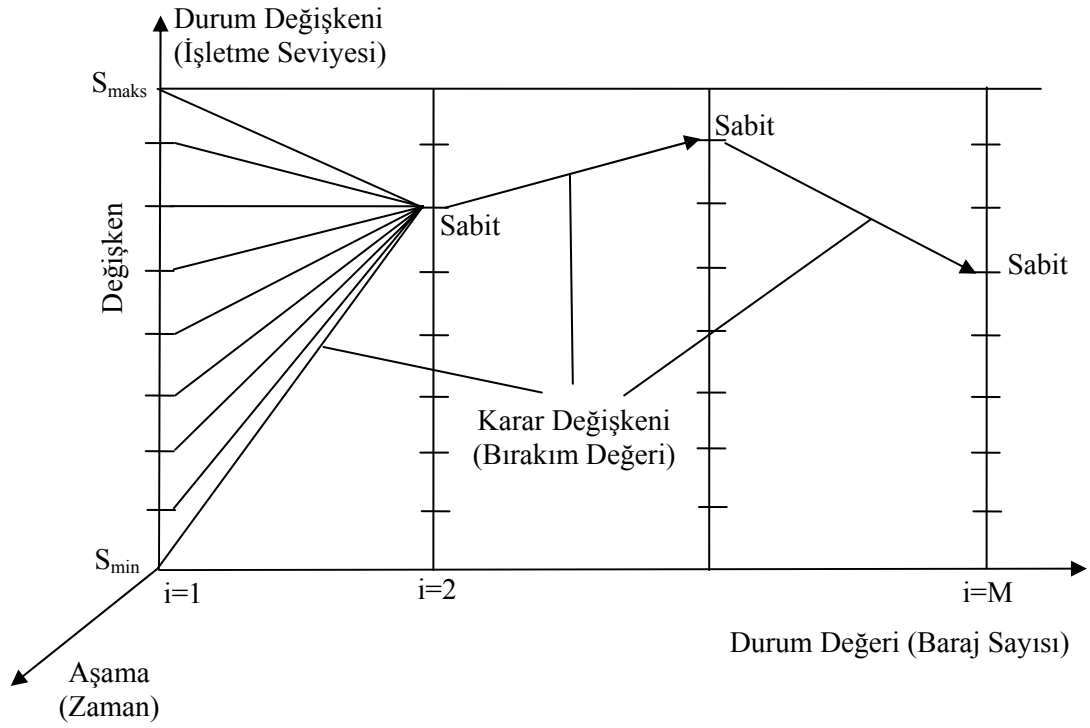
şeklindedir. Burada,

- $S_{i,t}$  : 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 yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA: Dynamic programming with successive approximations)
5. Ardışık yaklaşırmalı artırımı dinamik programlama (IDPSA: Incremental dynamic programming with successive approximations)
6. Çok-seviyeli artırımı 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 yaklaşırmayı 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 olmayan 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 kullanılabilir 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 enbüyükleme 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 hidro güç 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 çözüme 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 şekilde 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,

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

şeklinde tanımlanmıştır. Yineleme başına düşen bilgisayar zamanı;

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

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 ayırıştırmak 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. Gerçek Zamanlı Optimal İşletme ve Gelecek Akımların Tahmini**

Gerçek-zamanlı optimal kontrol modellerinde, saatlik (yada en az) yada günlük zaman artışlarındaki daha kısa zamanlı ufuklar gözetilerek, uzun dönemli kılavuz eğrileri üzerinden çözüm üretilmektedir. Bu duruma göre, çok barajlı sistemlerin akım ötelemesi ve buna göre yapılan planlama, (hem su hem de güç açısından) gelen akımların ve taleplerin gerçek zamanlı optimal işletme için tahmin etme yeteneği kadar önemlidir. Örneğin Labadie ve diğerleri (1981), Mishalani ve Palmer (1988), Georgakakos (1989b), çok baraj sistemlerin gerçek zamanlı kontrolünde tahmin yeteneğinin önemini sınınamışlardır.

Wasimi ve Kitamidis (1983), Iowa'da Des Moines havzasında bulunan çok barajlı sistemde günlük optimal taşkın kontrolü işletmeleri için ayrık-zamanlı LOG modelini uygulamışlardır. Sistem durum-aralığı, havza yağış-akış ilişkilerini ve Muskingum tipi akarsu akış ötelemesini içerecek şekilde genişletilmiştir. Başka bir şekilde, ölçülmüş yağış, modele girdidir ve tahmini ufuk zamanı, yağış-akış ve öteleme işlemlerinden doğan zaman adımı ve düzenlemesi üzerine kuruludur. Her ne kadar tam bir dinamik kapalı-döngü çözümü, gelecek bütün zaman adımları üzerine ulaşacak olsa da, özellikle geçerli zaman adımı olan açık-döngü çözümü yapılmıştır. Bir Kalman filtresi, gözlenen sistem durumlarının tahminlerini güncelleştirir ve LOG algoritması gelecek zaman adımından başlayarak tekrar çözülür. Bertsekas (1987), bunu "açık-loop geriye doğru" işlem olarak isimlendirmiştir. İkinci dereceden olan amaç fonksiyonu, uzun süreli planlama çalışmalarından elde edilerek, öngörülen



ideal sistem durumlarından ve bırakımlarından sapmaları cezalandırarak tasarlanmıştır.

Loaiciga ve Marino (1985) tarafından geliştirilmiş olan birleştirilmiş kontrol tahmin modeli, bir AR(I) işlemi ile modellenen akışları ve sistem ölçümlerindeki belirsizlikleri içermesine rağmen, Wasimi ve Kitanidis (1983)' e benzer bir durum-aralık formülasyonunu kullanmıştır. Mclaughlin ve Velasco (1990) aylık zaman artışlarında karmaşık baraj sistemleri için bu yaklaşımı genişletmişlerdir ve Venezuela'nın Caroni Havzası'ndaki iki barajlı sisteme uygulamışlardır. Bu modeller aslında optimizasyon prosedürlerini zorlamaz ve çok baraj sistemlerde kapasite ve bırakım kısıtları olan gerçek zamanlı kontrol problemlerine uygulanamaz. Mclaughlin ve Velasco (1990), sınırlamasız optimal çözümün gerçekleşmesi için kabul edilebilir bir şekilde basitleştirmeler yaparak heuristik bir prosedürü önermişlerdir. Philbrick ve Kitanidis (1999), çok barajlı sistemler için eşdeğerliğe dayalı metotların doğruluğunun LOG modeli ile ilişkilendirildiği kabuller üzerine çalışmaların gittikçe önemsizleştiği üzerine dikkatleri çekmişlerdir.

Georgakakos ve Marks (1987) sistem durum ve bırakım değişkenleri üzerine etki eden kısıtların dahil edilmesine izin veren genişletilmiş bir LOG (ELOG) algoritmasını önermişlerdir. Georgakakos (1989a) Gürcistan'da, Savannah akarsuyu üzerinde üç barajlı hidroelektrik baraj sistemine ELOG' u uygulamışlardır. Depolama seviyeleri üzerine şans kısıtlarına sahip olan bırakımlar üzerindeki kısıtlar, açık bir şekilde korunmuştur. Georgakakos ve diğ. (1997), Gürcistan' da Lanier - Allatoona - Carters sistemindeki hidro-güç planlaması için ELOG' u uygulamışlar ve optimal planlanmasına ve türbin birimlerinin yüklenmesine dahil etmişlerdir.

Çeşitli çalışmalar özellikle taşkın kontrol işletmeleri esnasında çok barajlı sistemlerin gerçek zamanlı kontrolünde birleştirilen gerçekçi akış öteleme tekniklerinin önemliliği üzerine odaklanmışlardır. Unver ve Mays (1990) baraj sistemleri için gerçek - zamanlı optimal kontrol modeline tam dinamik, düzensiz akış ötelemesine göre doğrusallaştırılmış St Venant denklemlerini açık bir şekilde dahil etmişlerdir. Artırılmış bir Lagrangian fonksiyonu durum-aralık kısıtlarının ele alınması için kullanılmasına rağmen GRG algoritması ilk karar değişkeni olarak barajda bırakım

için kapı kontrollerine doğrudan uygulanmıştır. Bu algoritmanın ilk zorluğu St Venant denklemlerinin kısmi türevlerinden belirlenen kompleks Jacobian matrislerini hesaplamak gereksinimidir. Optimal kontrol modeli, Texas 'ın Lower Colorado Havzası'nda Highland Lakes sistemine gerçek-zamanlı bir taşkın yönetim sistemi dahil edilmiştir. Wasimi ve Kitanidis (1983)' in yaklaşımına benzer şekilde, tahmin edilen akımlar, bir havza yağış-akış modelinde yağış ölçümleri verisi üzerine dayandırılmıştır.

Labadie (1993b), tam dinamik, düzensiz bir akış öteleme modeli olan OCT algoritmasının başarma çözümünün iteratif bir şekilde güncelleştirildiği durum denklemlerindeki öteleme katsayılarını kullanılarak St Venant denklemlerine göre türevlerin hesaplanmasındaki zorluklardan kaçınmıştır. Çok ileri yakınsama özellikleri, birleşik algoritmanın Seattle lağım sisteminin bir yerleşim bölgesi için yağmur suyu akışının sistem engelleme depolamasındaki gerçek-zamanlı kontrole uygulandığı zaman gözlenmiştir. Karar zaman adımları 10–15 dakika aralığında olduğu için, yerleşim bölgesi ile ilgili bir yağış-akış modelinden akış tahminleri, ARMA- tipi tahminleme modeli kullanılarak daha fazla tahmin yapılmıştır. Tahmini akışların belirlenebilir bir şekilde elde edilmesine rağmen, bir açık-döngü geriye doğru adım işlemi çalıştırılmıştır. Shim ve diğ. (2002), Kore'de Han Akarsuyu Havzası'nda optimal gerçek-zamanlı taşkın kontrol işletmeleri için öteleme katsayısı metodunu uygulamışlardır. Bir Coğrafi bilgi sistemi, akışı tahmini için bir (ANN) yapay sinir ağında giriş verisine göre gerçek zamanda uzaysal yağış verisini işlemiştir. Ardışık Yaklaştırmalı Dinamik Programlama (DPSA)'nın algoritması saatlik olarak güncelleştirilen çok barajlı sisteme göre en uygun işletme politikaları üretmek için etkili bir optimizasyon işlemi sağlamaktadır.

Hayes ve diğerleri (1998), su tutma tesisleri ve akarsuyu güzergâhlarından su kalitesi bileşenlerinin dinamik ötelemeyi doğrudan dâhil etmesi için baraj sistem optimizasyonunda durum aralığını genişletmişlerdir. OCT algoritması, hidroelektrik santral gelirlerini en büyükleyen optimal günlük baraj bırakım programının geliştirilmesi ve su kalite bakımı üzerindeki kısıtları tabi olması için uygulanmıştır. Tennessee'deki Cumberland Akarsu Havzası çok barajlı sisteminde günlük

programlama için uygulama, mansaptaki su kalite şartlarındaki önemli ilerlemenin baraj faydalarında sadece kabul edilebilir kayıplar ile ulaşılabileceğini göstermiştir.

Howard (1994), gerçek-zamanlı hidrolojik ve enerji amaçlı tahmin üretme modellerine ek olarak denetimsel kontrol ve veri kazanç sistemleri (SCADA) ile bağlantısı kullanılarak gerçek-zamanlı baraj kontrolü için karar verme sistemlerine optimizasyon modellerinin nasıl birleştirilebileceğini göstermiştir. Şimdilik görüntüleme ve nispeten ucuz telemetri donatımı ile birlikte gerçek-zamanlı bir karar verme sistemi, bütün veri yönetim fonksiyonlarını destekleyebilmekte, gerçek-zamanlı hidrolojik ve güç amaçlı tahminlerini sağlayabilmekte, geçerli sistem durumlarının etkili göstergelerini üretebilmekte ve hem önerilen işletmesel kontrollerin etkilerine benzetmek hem de özellikle ara yüzeyden bu kontrolleri gerçekleştirmek için operatörlere izin verebilmektedir.

#### **2.4. Kinematik Dalga Yaklaşımı**

Çok amaçlı çok barajlı su kaynakları sistemi, kısa süreli ve gerçek zamanlı olarak işletildiğinde, zaman adımı olarak saat veya gün kullanıldığı için barajdan bırakılan akım miktarı diğer baraj aksına akarsu yatağında ötelenerek farklı değerlerde ulaşmaktadır. Diğer baraj aksına ulaşan akımın değeri ve ulaşma zamanı akarsu yatağında akım öteleme için geliştirilen yaklaşımlarla belirlenebilmektedir. Bu yaklaşımlar:

1. Kinematik dalga yaklaşımı
2. Dinamik dalga yaklaşımı
3. Difüzyon yaklaşımı
4. Muskingum yöntemi

şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada, kinematik dalga yaklaşımı kullanılmıştır. Kinematik dalga yaklaşımında, St. Venant denklemlerinde ivme ve basınç terimleri ihmal edildiğinden, dalga hareketi, süreklilik denklemi ile tanımlanmaktadır.

İlk olarak, Barre de Saint-Venant (1871) tek boyutlu açık kanal akışını tanımlamak üzere, hidrolik ve akışkanlar mekaniğinin temel prensiplerinden biri olan Saint-Venant denklemlerini ortaya çıkarmıştır. Daha sonraki, 1953 ve 1969 tarihleri arasında Saint Venant denklemlerinin açık çözümleri için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Lighthill ve Whitham (1955) akarsu yatağındaki taşkın dalgasının hareketini kinematik dalga hareketi ile yaklaşık olarak örtüştüğünü göstermişlerdir. Henderson ve Wooding (1964), Wooding (1965a, 1965b ve 1966) tarafından kinematik dalga yaklaşımını matematiksel olarak tanımlarını ortaya çıkarmıştır. Brakensiek (1967), akarsu yatağındaki hidrografın tahmin edilmesini kinematik dalga yaklaşımı ile ilişkilendirmiştir. Eagleson (1970), Overton ve Meadows (1976) ile Stephenson ve Meadows (1986) yağış-akış arasındaki geçen süreç için kinematik dalga yaklaşımını kullanmışlardır. Overton (1970) kinematik dalga yaklaşımını kullanarak akımın taşınması üzerine çalışmıştır. Overton (1971), kinematik dalga denklemleri kullanarak su yüzeyindeki dalga hareketinin ilerleyişinin tahminine katkıda bulunmuştur. Ponce ve diğ. (1978) kinematik ve difüzyon yaklaşımlarının uygulanabilirliğini göstermiştir. Sherman (1978 ve 1982) yüzeysel sulama için kinematik dalga yaklaşımını önermiştir. DeVries ve MacArthur (1979), HEC-1 benzetim programı içerisinde kinematik dalga öteleme tekniğini tanımlamış ve uygulamıştır.

## **2.5. Modellemede Kullanılan Araç: MATLAB ile Programlama**

Bugün için farklı alanlarda kullanılabilen çok geniş bir ürün yelpazesine sahip MATLAB, teknik hesaplamalarda kullanılan yüksek başarılı 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,
- Grafikselle kullanıcı arayüz yapısını da içine alan uygulama geliştirme.

MATLAB ismi İngilizce matris laboratuvarı (MATrix LABoratory) anlamına karşılık gelen kelimedenden türetilmiştir. MATLAB ilk defa LINPACK ve EISPACK tasarımları yoluyla geliştirilen matris yazılımına kolay erişim sağlamak amacıyla 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 hesaplamaların 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 amacıyla 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 çözümlenmesinde 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 kullanılabilir. 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)

### **2.5.1.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.

### **2.5.2.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.

### **2.5.3.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.

#### **2.5.4.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.

#### **2.5.5.MATLAB uygulama programı arabirimi**

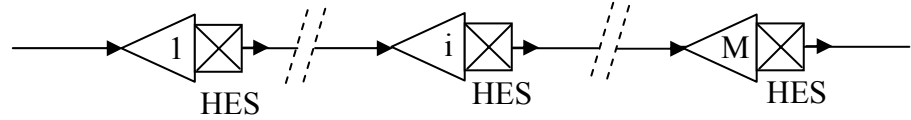
MATLAB ile etkileşimli çalışan C ve FORTRAN programları yazılmasına olanak tanıyan bir kütüphanedir. MATLAB' dan 'ı rutinleri çağırma (dinamik ilişki), MATLAB' ı bir hesaplama motoru gibi kullanma ve MAT-dosyalarını (veri dosyaları) yazma ve okuma için gerekli gereçlerden oluşur.



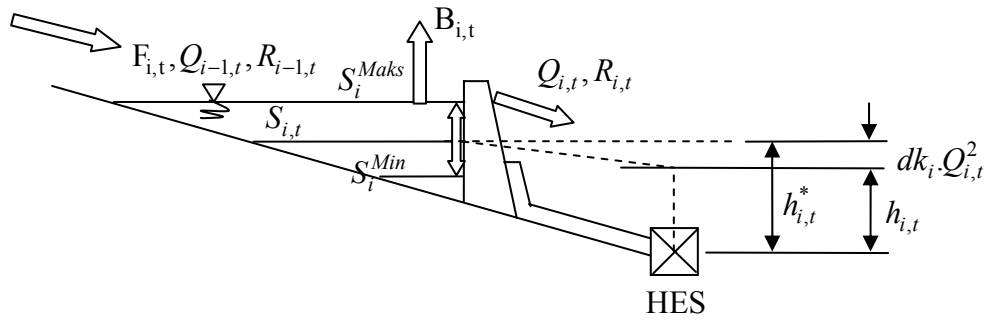
### 3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ

#### 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,

$$\frac{dS}{dt} = X - Y \quad (3.1)$$

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=1,2...M: baraj sayısı, t=1,2...KM: Dönem sayısı), ayırık zaman dilimi için,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (3.2)$$

ile gösterildiğinde, buradan,

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = X_{i,t} - Y_{i,t} \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir. Buradan,

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

$$Y_{i,t} = Q_{i,t} + R_{i,t} + B_{i,t} \quad (3.5)$$

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

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

$$\Delta S_i = S_{i,t+1} - S_{i,t} \quad (3.6)$$

$$S_{i,t+1} - S_{i,t} = F_{i,t} + Q_{i-1,t} + R_{i-1,t} - Q_{i,t} - R_{i,t} - B_{i,t} \quad (3.7)$$

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

$$S_i^{Min} \leq S_{i,t} \leq S_i^{Maks} \quad (3.8)$$

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

$$0 \leq Q_{i,t} \leq Q_i^{Maks} \quad (3.9)$$

$$0 \leq R_{i,t} \leq R_i^{Maks} \quad (3.10)$$

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,

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

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.

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

$$P_{i,t} = k_i \cdot Q_{i,t} \cdot h_{i,t} \quad (3.12)$$

olup,

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

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

Barajlardaki ortalama su yüksekliği,

$$h_{i,t}^* = h \left( \frac{S_{i,t} + S_{i,t+1}}{2} \right) \quad (3.13)$$

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

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - (h_f)_{i,t} \quad (3.14)$$

olmakta ve buradan

$$h_{i,t} = h_{i,t}^* - dk_i \cdot Q_{i,t}^2 \cdot l_i \quad (3.15)$$

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

$$Max.(\min. \sum_{i=1}^M P_{i,t}) \quad (3.16)$$

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

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

$$Max. \sum_{t=1}^{KM} \left[ \left( \sum_{i=1}^M P_{i,t} - P_G \right) \cdot p_s + P_G \cdot p_G \right], (KM=12 \text{ ay}) \quad (3.17)$$

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

$$\sum_{i=1}^M P_{i,t} \geq P_G \quad (3.18)$$

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. Kısa Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli**

Kısa süreli planlama için işletme optimizasyonunda, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA) tekniği kullanılmaktadır. Barajlara havzasından gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografi akım verileri ile, taşkın emniyeti debi kısıtı ve ek taşkın kontrol hacmi kullanılması durumuna göre barajdan bırakılan akımların pik değeri enküçüklenmekte ve aynı zamanda sistemden beklenen optimal faydaya (enerji üretimi v.s.) ulaşılmaya çalışılmaktadır. Burada, kullanılan ek taşkın kontrol hacimleri, işletme sonucu elde edilen işletme seviyelerinden düşülerek optimal taşkın kontrol seviyeleri belirlenmektedir.

Amaç fonksiyonu, taşkın durumunda barajdan bırakılan toplam su miktarının kabul edilen işletme süresi içinde en büyük değerinin enküçüklenmesi şeklinde seçilmektedir. Yani, amaç fonksiyonu,

$$\text{Min.}[Max.(Q_{i,f} + R_{i,f})] \quad (3.19)$$

$f=1,2,\dots, TM; i=1,2,\dots, M$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $f=1,2,3,\dots, TM$ : Taşkın hidrografi için kısa süreli işletme süresi içindeki zaman dilimidir. Barajlardaki başlangıç su seviyeleri, taşkın durumunun söz konusu olduğu ay için öngörülen aylık normal işletme seviyeleri olarak alınmaktadır. Barajlardan bırakılan akımların mansapta taşkın emniyeti için öngörülen debi miktarından küçük olması şartı, kısıt olarak kullanılmaktadır. Yani, taşkın emniyeti için mansapta debi kısıtı,

$$(Q_{i,f} + R_{i,f})_t \leq W_i^{Maks} \quad (3.20)$$

şeklindedir. Burada,  $W_i^{Maks}$ , i-barajı için taşkın emniyeti bakımından mansaptaki maksimum debiyi göstermektedir. Uzun süreli işletme modelinde ifade edilen yapısal denklemler ve kısıtlar burada aynen geçerlidir. Ancak zaman boyutu olarak ay yerine saat veya gün kullanılmaktadır.

Kısa süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde izlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Çok barajlı sistemde uzun süreli optimizasyon sonucu belirlenen aylık normal işletme seviyeleri, minimum ve maksimum işletme seviyeleri ( $S_i^{Min}$ ,  $S_i^{Maks}$ ) arasında değişmektedir. Taşkın durumunda, çok barajlı sisteme gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografları, aylık normal işletme seviyelerinde ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) karşılanmakta ve taşkın emniyeti için mansapta debi kısıtı ile barajdan bırakılan akımın pik değerinin enküçüklenmesine çalışılmaktadır. Başlangıçta, ( $f=1$  için) taşkın karşılama seviyesi ( $S_{i,1}^{Tas}$ ) =  $S_{i,t}^{Nor}$  olarak alınmakta ve tasarım amaçlı taşkın hidrografi akım verileri kullanılarak elde edilen optimal çözümde ( $S_{i,f}^{Tas}$ )<sub>t</sub> değerlerinden en küçük olanı, söz konusu ay için optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Tas}$ ) olarak alınmaktadır. Bu şekilde her bir ay için, olabilecek tasarım amaçlı taşkın hidrografları ile optimal taşkın kontrol seviyeleri ( $S_{i,t}^{Tas}$ ) belirlenmektedir.



2. Bu çözüm gerçekleşmiyorsa, taşkın kontrolü için ek taşkın hacmi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu amaçla, maksimum işletme seviyesi ( $S_i^{Maks}$ ) üzerine ek taşkın kontrol hacmi ilave edilmelidir. Bu ek hacim, aylık normal işletme seviyesi ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) ile minimum işletme seviyesi ( $S_i^{Min}$ ) arasındaki fark kadar olmalıdır. Buna göre, ek hacimlerle birlikte her baraj için, varsayılan yeni maksimum işletme seviyeleri

$$S_i^{Maks*} = S_i^{Maks} + (S_{i,t}^{Nor} - S_i^{Min}) \quad (3.21)$$

şeklindedir. Burada, taşkın kontrol seviyeleri,

$$S_i^{Min} \leq (S_{i,f}^{Taş})_t \leq S_i^{Maks*} \quad (3.22)$$

arasında oluşacaktır. Buradan, barajlara gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografları, başlangıçta ( $f=1$  için  $(S_{i,1}^{Taş})_t = S_{i,t}^{Nor}$ ) aylık normal işletme seviyesi ile karşılanmakta ve aynı zamanda mansapta taşkın emniyeti için konulan kısıt altında barajdan bırakılan akımın enküçüklenmesine çalışılmaktadır. Bu şekilde elde edilen işletme seviyelerinden ( $(S_{i,f}^G)_t$ ) başlangıçta eklenen hacim ( $S_{i,t}^{Nor} - S_i^{Min}$ ) düşülerek taşkın kontrol seviyeleri ( $(S_{i,f}^{Taş})_t$ ) bulunmaktadır. Buna göre, taşkın kontrol seviyeleri

$$(S_{i,f}^{Taş})_t = (S_{i,f}^G)_t - (S_{i,t}^{Nor} - S_i^{Min}) \quad (3.23)$$

şeklinde elde edilmektedir.  $(S_{i,f}^{Taş})_t$  değerlerinden en küçük olanı, söz konusu ay için optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Taş}$ ) olarak alınmaktadır.

3. Bu şekilde de çözüme ulaşılamıyorsa, taşkın emniyeti için debi kısıtı serbest bırakılarak, taşkın pik debisini, dolayısıyla, taşkından oluşacak zararı enküçükleyecek akımın bırakılmasına çalışılmaktadır. Burada, serbest bırakılan taşkın emniyeti için mansaptaki debi,

$$W_i^{Maks*} = Min.[Max.(Q_{i,f} + R_{i,f})_t] \quad (3.24)$$

şeklinde belirlenmelidir. Buna göre, taşkın emniyeti için bırakılacak debi kısıtı,

$$(Q_{i,f} + R_{i,f})_t \leq W_i^{Maks*} \quad (3.25)$$

ile tanımlanmalıdır. Bu duruma göre elde edilen işletme seviyelerinden ek taşkın kontrol hacimleri düşülerek taşkın kontrol seviyeleri ( $(S_{i,f}^{Taş})_t$ ) elde edilmektedir.  $(S_{i,f}^{Taş})_t$  değerlerinden en küçük olanı, söz konusu ay için optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Taş}$ ) olarak alınmaktadır.

4. Kısa süreli işletme optimizasyonunda zaman dilimi olarak saat veya gün kullanıldığı için akımların akarsu yatağında ötelenerek baraj aksına taşınmasında kullanılacak bir yaklaşıma gerek vardır. Akarsu yatağında akım öteleme üzerine kinematik dalga, dinamik dalga ve Muskingam gibi yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada, akımların baraj aksına taşınmasında kinematik dalga modeli kullanılmaktadır. Kinematik dalga modelinde, St. Venant denklemlerindeki ivme ve basınç terimleri ihmal edildiğinden, dalga hareketi, sadece süreklilik denklemi ile tanımlanmaktadır.

Böylece elde edilen çözümlere bakıldığında, uzun süreli planlama çalışmaları neticesinde elde edilen aylık normal işletme seviyeleri etrafında taşkın durumu için belirlenen optimal taşkın kontrol seviyeleri ile üretilen toplam enerjiyi maksimum yapacak bir çözüm elde edilmektedir. Burada, amaç fonksiyonu,

$$\max. \sum_{f=1}^{TM} \sum_{i=1}^M P_{i,f} \quad (3.26)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu yaklaşım çerçevesinde, muhtemel taşkın durumları için sistem tarafından optimal taşkın kontrolü sağlanmakla birlikte, aynı zamanda da kısa

sürelî optimal işletme politikaları sistemden elde edilecek faydayı en büyükleyecek şekilde belirlenmektedir,

### 3.4. Gerçek Zamanlı Optimal İşletme Modeli

Gerçek zamanlı işletme optimizasyonu, uzun ve kısa süreli planlama için işletme optimizasyonlarına, havzadan gelebilecek akımın tahmin edilmesine, barajlardan bırakılan akımların diğer barajlara taşınmasına bağılı olarak yapılmaktadır. Bu işletme optimizasyonunda, sırasıyla, akımların tahmin edilmesi, başlangıç işletme seviyesinin belirlenmesi, barajdan bırakılacak optimal bırakım değerinin seçilmesi, seçilen optimal bırakım değeri ile bir sonraki zaman diliminde seviyenin bulunması, bırakılan akımın diğer baraj aksına akarsu yatağında ötelenerek taşınması yer almaktadır.

Şekil 3.3' de, gerçek zamanlı optimal işletme çalışmalarının akış şeması şematik olarak gösterilmektedir.

Gerçek zamanlı işletme optimizasyonuna girilen veriler:

1. Aylık normal işletme seviyeleri ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) ve aylık minimum işletme seviyeleri ( $S_{i,t}^{Min}$ )
2. Optimal taşkın kontrol seviyeleri ( $S_{i,t}^{Taş}$ )
3. Barajlara havzasından gelebileceği öngörülen tasarım amaçlı taşkın verilerinin bulunduğu akım hidrografları ( $(F_{i,f})_t$ )
4. Akım öteleme verileri

şeklinde verilmektedir. Bu veriler kullanılarak, gerçek zamanlı işletme optimizasyonu için süreci aşağıdaki verildiği gibi gerçekleştirilmektedir:

1.Barajlara havzasından gelen akımın taşkın ihtimali oluşturma durumu:

Barajlara havzasından gelebilecek akımların taşkın ihtimali oluşturma durumu, akım tahmin modelinden gelen akım verilerinin tasarım amaçlı taşkın hidrografları ile birlikte değerlendirilmesi ile belirlenebilir. Bu değerlendirme sonucu seviye düzeltme faktörü elde edilmektedir. Seviye düzeltme faktörünün taşkın ihtimalini oluşturma için öngörülen değeri aşıldığı zaman, taşkın kontrol amacını da içeren gerçek zamanlı işletmeye geçilmesine karar verilmektedir.

2. Havzadan gelebilecek akımın tahmin edilmesi:

Barajlara havzasından gelen tasarım amaçlı taşkın hidrografındaki akım verileri ( $(F_{i,f})_t$ ) kullanılarak, her bir baraj için 6 adet saatlik tahmini akım verisi ( $F_{i,k}^{Tah}$ ) üretilmektedir. Burada,  $k=1,2,...6$  saat olarak zamanı göstermektedir. Başlangıçta ( $f=1$ . saat için ) belirlenecek tahmini akım verileri, tasarım amaçlı taşkın hidrografında ilk akım verisi ile ortalama akım arasında doğrusal bir ilişki kurularak elde edilmektedir. Buna göre, başlangıçta ( $f=1$ . saat için) tahmini akım verileri

$$\left. \begin{aligned} F_{i,1}^{Tah} &= F_{i,f} \\ F_{i,2}^{Tah} &= 2.F_{i,1}^{Tah} - F_{Ort} \\ F_{i,3}^{Tah} &= 2.F_{i,2}^{Tah} - F_{i,1}^{Tah} \\ F_{i,4}^{Tah} &= 2.F_{i,3}^{Tah} - F_{i,2}^{Tah} \\ F_{i,5}^{Tah} &= 2.F_{i,4}^{Tah} - F_{i,3}^{Tah} \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$
$$F_{i,6}^{Tah} = 2.F_{i,5}^{Tah} - F_{i,4}^{Tah}$$

elde edilmekte olup ve diğer zaman dilimlerinde ise ( $f=2,3,4...TM$ ) akım verisi ile kendisinden önce gelen akım verisi arasında doğrusal bir ilişki kurulmaktadır. Buna göre, diğer zamanlar için tahmini akım verileri,

$$\left. \begin{aligned}
F_{i,1}^{Tah} &= F_{i,f} \\
F_{i,2}^{Tah} &= 2.F_{i,1}^{Tah} - F_{i,f-1} \\
F_{i,3}^{Tah} &= 2.F_{i,2}^{Tah} - F_{i,1}^{Tah} \\
F_{i,4}^{Tah} &= 2.F_{i,3}^{Tah} - F_{i,2}^{Tah} \\
F_{i,5}^{Tah} &= 2.F_{i,4}^{Tah} - F_{i,3}^{Tah} \\
F_{i,6}^{Tah} &= 2.F_{i,5}^{Tah} - F_{i,4}^{Tah}
\end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

şeklinde elde edilmektedir.

### 3. Başlangıç işletme seviyelerinin belirlenmesi:

Taşkın oluşmaması durumunda, barajların normal işletme seviyesinde işletilmesi esas alınmaktadır. Taşkın ihtimali olduğunda, kademeli olarak taşkın işletme seviyesine düşülecektir. Bunun için, her bir baraj için tahmini akım verisinin ilk değeri, barajlara gelen akım hidrografındaki (taşkın) ilgili akım verisinin ilk değerine oranlanarak, (yani, k=1. saat için)

$$\alpha_i^{Ger} = \frac{F_{i,1}^{Tah}}{F_{i,1}} \quad (3.29)$$

gerçek seviye düzeltme katsayısı bulunmaktadır. Daha sonra, diğer tahmini akım verileri barajlara gelen akım hidrograflarının ilgili (taşkın) akım verilerine oranlanarak, (k=2, 3, 4, 5, 6 saat)

$$\alpha_{i,k}^{Tah} = \frac{F_{i,k}^{Tah}}{F_{i,f}} \quad (3.30)$$

tahmini seviye düzeltme katsayıları elde edilmektedir. Buradan, tahmini seviye düzeltme katsayılarının aritmetik ortalaması alınarak, ortalama tahmini seviye düzeltme katsayısı aşağıda gibi bulunmaktadır.

$$\alpha_{i,Ort}^{Tah} = \frac{\sum_{k=1}^5 \alpha_{i,k}^{Tah}}{5} \quad (3.31)$$

Daha sonra, gerçek seviye düzeltme katsayısı ile ortalama tahmini seviye düzeltme katsayısının aritmetik ortalaması alınarak,

$$\alpha_i^d = \frac{\alpha_i^{Ger} + \alpha_{i,Ort}^{Tah}}{2} \quad (3.32)$$

seviye düzeltme faktörü bulunmaktadır.

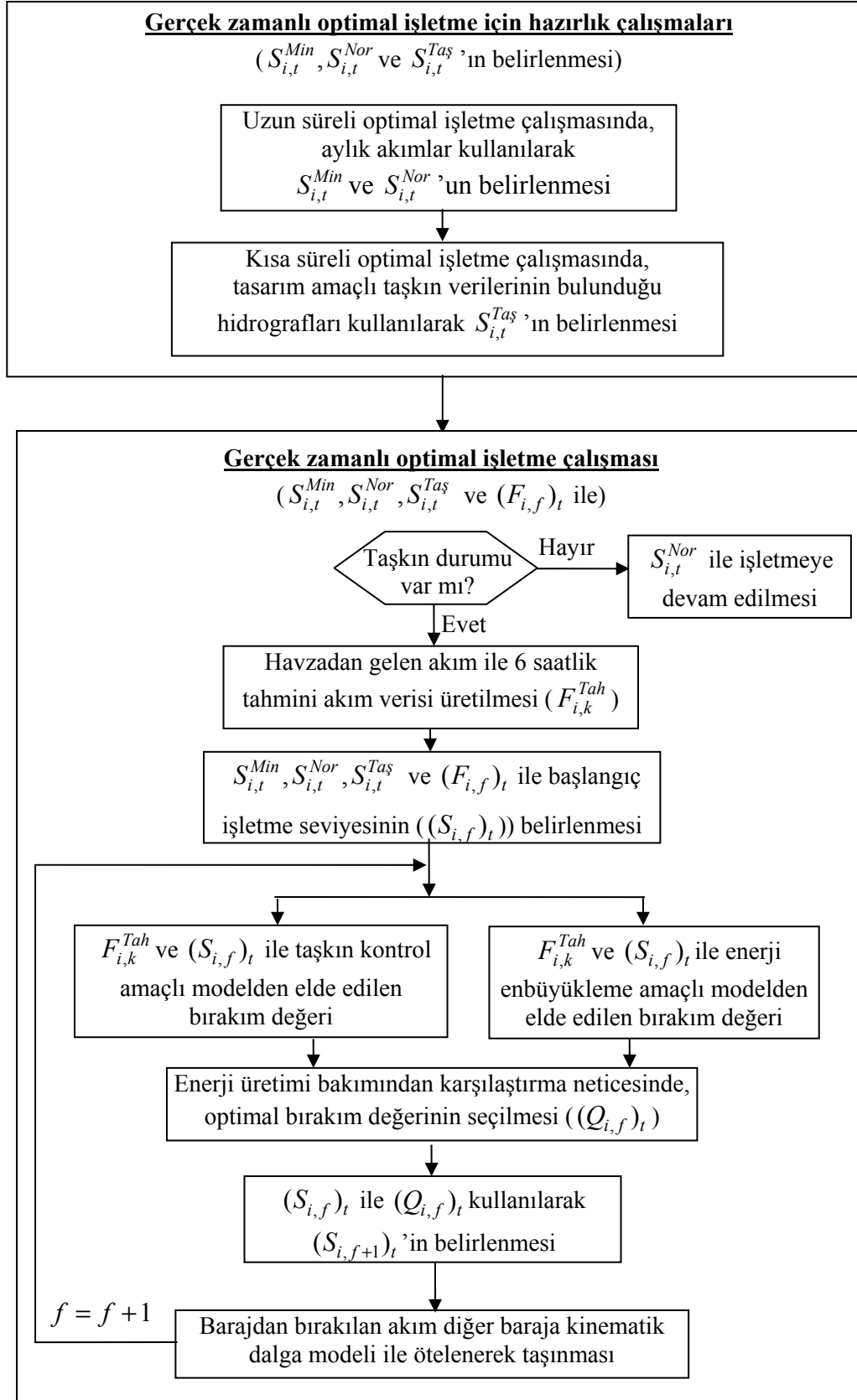
Aylık normal işletme seviyesi ( $S_{i,t}^{Nor}$ ) ile optimal taşkın kontrol seviyesi ( $S_{i,t}^{Taş}$ ) arasındaki fark belirlendikten sonra, bu farkın değeri ile seviye düzeltme faktörü çarpılarak, başlangıç için

$$S_i^d = (S_{i,t}^{Nor} - S_{i,t}^{Taş}) \cdot \alpha_i^d \quad (3.33)$$

seviye düzeltme miktarı bulunmaktadır. Buradan elde edilen seviye düzeltme miktarı, ( $S_i^d$ ), aylık normal işletme seviyesinden düşülerek, başlangıç (f=1. saat ) işletme seviyesi

$$(S_{i,1})_t = S_{i,t}^{Nor} - S_i^d \quad (3.34)$$

şeklinde elde edilmektedir. Başlangıç işletme seviyesi her bir baraj için elde edildikten sonra, takip edilecek süreç aşağıda gibi devam etmektedir:



Şekil 3.3: Gerçek zamanlı optimal işletme çalışmalarının akış şeması

4. İşletme seviyesi  $((S_{i,f})_t)$  ve tahmini akım değerleri  $(F_{i,k}^{Tah})$ , hem taşkın kontrol hem de enerji amaçlı optimizasyon modellerinde kullanılarak elde edilen optimal bırakım değerlerinin belirlenmesi

5. Elde edilen bırakım değerlerinin enerji üretimi bakımından karşılaştırılması ve büyük enerji üretimi veren optimal bırakım değerinin  $((Q_{i,f})_t)$  seçilmesi

6. Seçilen bırakım değeri  $((Q_{i,f})_t)$  ile işletme seviyesi  $((S_{i,f})_t)$  kullanılarak bir sonraki zaman dilimi için işletme seviyesinin  $((S_{i,f+1})_t)$  belirlenmesi

Bunun için ilk olarak dolu savaktan bırakılan akım miktarı,

$$(R_{i,f})_t = 0 \quad (3.35)$$

olarak ele alınmaktadır. Bir sonraki zaman dilimi için işletme seviyesi,

$$(S_{i,f+1})_t = (S_{i,f})_t + (F_{i,f})_t - Q_{i,f})_t \quad (3.36)$$

elde edilmektedir. Elde edilen işletme seviyesi, maksimum işletme seviyesinden büyükse, sırasıyla, dolu savaktan bırakılacak akım miktarı ve işletme seviyesi,

$$(R_{i,f})_t = (S_{i,f+1})_t - S_i^{Maks} \quad (3.37)$$

$$(S_{i,f+1})_t = S_i^{Maks} \quad (3.38)$$

şeklinde yeniden hesaplanmaktadır.

7. Ayrıca, seçilen bırakım değeri, diğer baraja akarsu yatağında kinematik dalga modeli ile ötelenerek taşınmakta ve baraja havzasından gelen akım değeri üzerine ilave edilmektedir, (Bunun için Bölüm 3.6' ya bakınız).



### 3.5. Benzetim Modeli

Çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminde, gerçek zamanlı işletme optimizasyonunu mantığı ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi amacıyla, bir benzetim modeli ile yapılacak işletmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Benzetim modeli ile yapılan işletmede, çok barajlı sisteme gelebileceği öngörülen tasarım amaçlı taşkın hidrografları (saatlik olarak), saatlik benzetim işletme seviyeleri ile karşılanmakta ve barajlardan bırakılan akımların baraj aksına taşınmasında kinematik dalga modeli kullanılmaktadır. Benzetim modeli ile yapılan işletmede, işletme kuralları şöyledir:

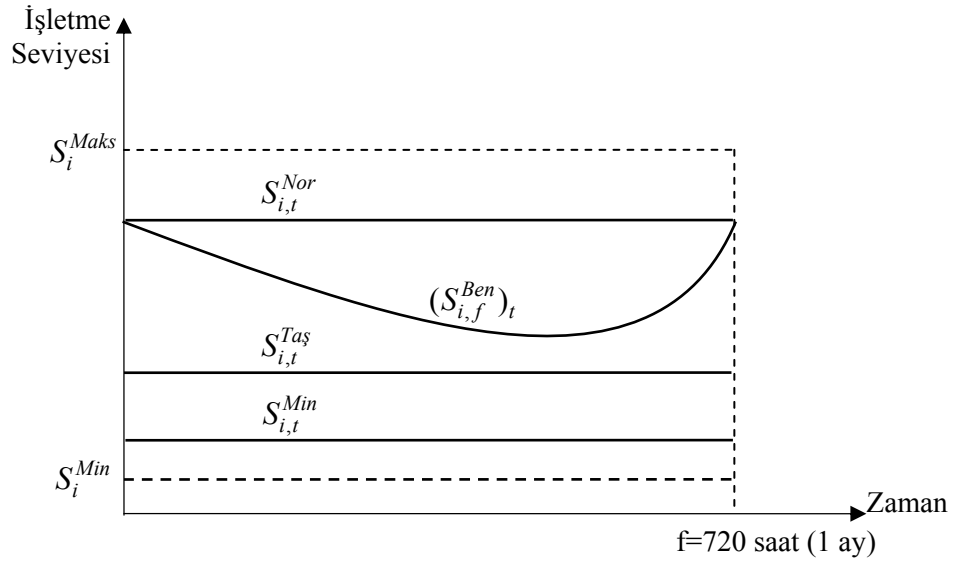
1. Çok barajlı sistemde, barajlara havzalarından gelen tasarım amaçlı taşkın verilerinin bulunduğu hidrografların akım verileri, benzetim işletme seviyeleri ile karşılanmalıdır.
2. Barajlardan bırakılacak debi en az güvenilir enerjiyi sağlayacak kadar olmalıdır.
3. Güvenilir enerji üretimi sağlanıncaya kadar benzetim işletme seviyelerinden optimal taşkın kontrol seviyesine kadar inilmelidir.
4. Güvenilir enerji sağlanmıyorsa, aylık minimum işletme seviyesine kadar inilmelidir.
5. Güvenilir enerji yine sağlanmıyorsa, enerji açık miktarı bulunmalıdır. Enerji açık miktarı, güvenilir enerji değerinden üretilen enerji değerinin farkı ile bulunmaktadır. Buna göre, enerji açık miktarı, ( $t=1,2,3,\dots,720$  saat olabilir)

$$P_{i,t}^{Aç} = P_G - P_{i,t} \quad (3.39)$$

şeklindedir.

6. Barajlardan bırakılan akımlar akarsu yatağında kinematik dalga modeli ile ötelenerek diğer baraj aksına taşınmalı ve burada havzadan gelen akım üzerine ilave edilmelidir.

Şekil 3.4' de, benzetim işletme seviyesinin, optimal taşkın kontrol, aylık normal ve aylık minimum işletme seviyeleri arasında yeri gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Herhangi bir i-barajına ait benzetim işletme seviyesinin diğer işletme seviyeleri arasındaki yeri

Burada kullanılan benzetim işletme seviyeleri şu şekilde belirlenmektedir.

1. Çok barajlı sistemde her bir barajdaki aylık akım, taşkın durumunun görüldüğü ayda, baraja öngörülen işletme zamanı boyunca havzasından gelen saatlik akım verilerinin ortalaması esas alınarak elde edilmektedir. Yani, aylık akım, aşağıdaki ifadeden bulunmaktadır.

$$F_{i,t} = \sum_{f=1}^{720\text{saat}} F_{i,f} \quad (3.40)$$

2. Bu aylık akım ile uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda kullanılan aylık ortalama akım arasındaki fark değeri belirlenmektedir. Yani, fark değeri,

$$\Delta F_{i,t} = F_{i,t} - F_{i,t}^{Ay,Ort} \quad (3.41)$$

şeklinde elde edilmektedir.

3. Bu fark değeri aylık normal işletme seviyesinden düşülerek, başlangıç benzetim işletme seviyesi bulunmaktadır. Buna göre, başlangıç benzetim işletme seviyesi,

$$(S_{i,1}^{Ben})_t = S_{i,t}^{Nor} - \Delta F_{i,t} \quad (3.42)$$

şeklinde elde edilmektedir.

4. Bu elde edilen başlangıç işletme değerleri üzerine havzadan gelen saatlik akım verileri, her bir zaman diliminde eklenerek, benzetim işletme seviyesinin diğer işletme değerleri elde edilmektedir. Buna göre, saatlik benzetim işletme seviyeleri,  $f=2,3,4,\dots,720$  saat için (1 ay),

$$(S_{i,f}^{Ben})_t = F_{i,f} - Q_i^{Maks} \quad (3.43)$$

şeklinde belirlenmektedir.

### 3.6. Akarsu Yatağında Taşkın Öteleme Üzerine Çeşitli Yaklaşımlar

Kısa süreli ve gerçek zamanlı işletme modelinde, saatlik akımlar ile işletme yapıldığı için barajdan bırakılan akımların diğer baraj aksına ulaşma zamanı ve miktarı bilinmediği için çeşitli yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Barajdan bırakılan akımın akarsu yatağında ötelenerek diğer baraj aksına taşınması üzerine kinematik dalga, dinamik dalga ve Muskingam gibi yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada, akarsu yatağında taşkın ötelemesi için hangi yöntemin planlama çalışmalarında dikkate alınması gerektiği üzerine bir ön irdeleme yapılmıştır.

Dinamik dalganın hızı, St. Venant Denklemlerini kullanarak karakteristik denklemlerin geliştirilmesiyle açıklanabilir. Bir akış hidrografi (taşkın hidrografi gibi) verisi akarsuyun membasından girdikten belirli bir süre sonra, akarsuyun membasındaki ve mansabındaki rejim durumu (sel veya nehir rejimi olması hali), depolama hacmi ve yatağının karakteristik parametrelerine bağlı olarak değişerek mansaba ulaşmaktadır. Yaklaşımı oluşturan denklemler, süreklilik ve momentum denklemlerinin sonlu farklar yöntemi kullanılarak her bir sonlu eleman için yazılmasıyla oluşturulmaktadır. Sınır şartları olarak membada ve mansapta bilinen bir akış-zaman, seviye-zaman veya akış-seviye ilişkisini gösteren bir eğri kullanılmaktadır. Denklemler, Gauss eliminasyon ve Newton-Raphson yöntemleri kullanılarak çözülebilmektedir.

Kinematik dalga yaklaşımında, St. Venant denklemlerinde ivme ve basınç terimleri ihmal edildiğinden, dalga hareketi, süreklilik denklemi ile tanımlanmaktadır. Burada seçilen bir zaman diliminde (dalga hızının seyahat zamanı gözetilerek) taşkın dalgasının akarsu güzergâhı boyunca alacağı değerleri, kinematik dalga hareketinin sonlu farklar çözüm tekniği kullanılarak oluşturulan model yardımıyla belirlenebilmektedir.

Akarsu güzergahında, dinamik dalga yaklaşımının sonlu farklar çözümü kullanılarak membadaki akım verisinin mansapta aldığı değeri ve ulaşma süresi elde edilebilmektedir. Ancak gerçek zamanlı planlama çalışmalarında bu yaklaşımın kullanılması ile, çözümde iterasyon yönteminden ve dalganın mansaba ulaşma süresinin öngörülen planlama zamanı üzerine eklenmesinden dolayı bilgisayar zamanını artıracak sonucuna ulaşılmıştır.

Akarsu güzergahında, kinematik dalga yaklaşımının sonlu farklar çözümü kullanılarak membadaki akım verisinin belirli bir zaman dilimi seçilerek mansapta aldığı değeri belirlenebilmektedir. Gerçek zamanlı planlamada bu yaklaşımın yer alması ile, membadaki dalganın mansaba ulaşma süresinin başlangıçta öngörülen planlama zamanını uzatmamasından ve çözüm esnasında herhangi bir iterasyon yöntemi kullanılmamasından dolayı bilgisayar zamanının artmayacağı görülmüştür.

Sonuç olarak, akımların ötelenmesi için, kinematik dalga yaklaşımının kısa süreli ve gerçek zamanlı planlama sürecinde kullanılmasına karar verilmiştir.

### 3.6.1 Kinematik dalga modeli

Kinematik Dalga Yaklaşımının Tanımlanması:

Kısa süreli ve gerçek zamanlı işletme modelinde, akımların baraj akısına taşınması için kinematik dalga yaklaşımı kullanılmaktadır. Kinematik dalga yaklaşımında, St Venant denklemlerinde, süreklilik denklemi

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3.44)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Momentum denklemi,

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (3.45)$$

şeklinde olup, kinematik dalga yaklaşımı için ivme ve basınç terimleri çıkarıldığında, momentum denklemi aşağıdaki ifadeye dönüşmektedir,

$$S_o = S_f \quad (3.46)$$

Momentum denklemi aşağıdaki şekilde de gösterilmektedir,

$$A = \alpha Q^\beta \quad (3.47)$$

Burada  $\alpha$  ile  $\beta$  değerlerini belirlemek amacıyla  $S_o = S_f$  ve  $R = \frac{A}{P}$  olarak Manning

Denklemini yazıldığında, akarsudaki debi,

$$Q = \frac{S_o^{1/2}}{nP^{2/3}} A^{5/3} \quad (3.48)$$

olmakta ve akarsu kesit alanı

$$A = \left( \frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{3/5} Q^{3/5} \quad (3.49)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada,

$$\alpha = \left( \frac{nP^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{0.6} \quad (3.50)$$

şeklinde olup  $\beta=0.6$  olarak bulunmaktadır. Burada kesit alanının zamana göre diferansiyeli yazıldığında,

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha \beta Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \quad (3.51)$$

şeklinde elde edilmektedir. Buradan elde edilen ifadeler süreklilik denkleminde yerine konduğunda ise,

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (3.52)$$

ifade oluşmaktadır. Kinematik dalgalar debideki değişimlerden oluşmaktadır. Bu değişim  $dQ$  olarak gösterilirse,

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \frac{\partial Q}{\partial t} dt \quad (3.53)$$

olarak ifade edilebilir. Eşitliğin her iki tarafını  $dx$  ile bölüp denklem düzenlendiğinde,

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{dt}{dx} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (3.54)$$

bulunmaktadır. Burada,

$$\frac{dQ}{dx} = q \quad (3.55)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad (3.56)$$

ile ifade edilirse, o zaman denklem

$$\frac{dQ}{dA} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad (3.57)$$

şeklini almaktadır. Burada

$$\frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt} \quad (3.58)$$

olmaktadır. Buna göre kinematik dalga hızı

$$c_k = \frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad (3.59)$$

şeklinde elde edilmektedir.

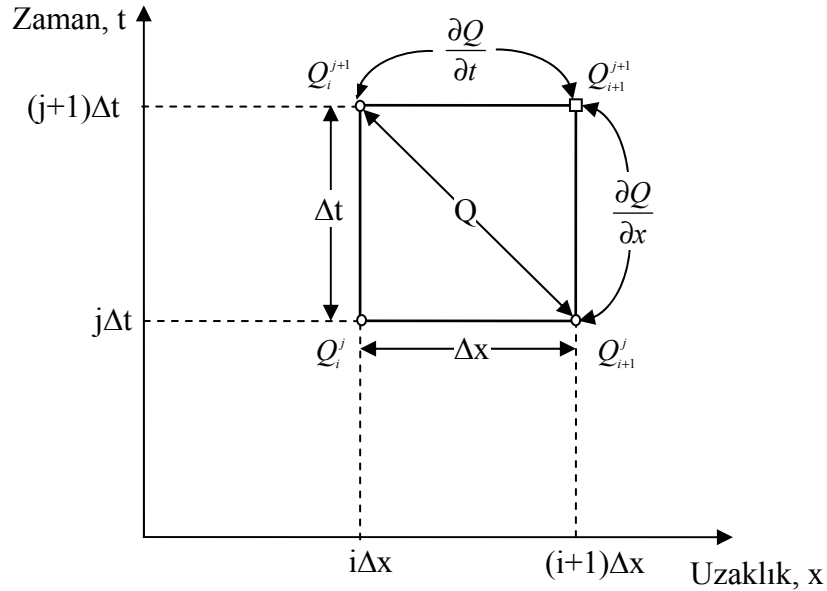
Kinematik Dalga Yaklaşımında Sayısal Analiz:

Denklem (3.44)' de gösterildiği gibi kinematik dalga için süreklilik ve momentum denklemleri debiye bağlı olarak,

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha\beta Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (3.60)$$

ifade edilmektedir.

Sayısal çözümün amacı yanıl akış, başlangıç ve sınır şartları, alfa ve beta gibi kanal parametrelerinin verildiği, zaman-konum koordinatları üzerindeki her bir noktada bu denklemleri çözmektir. Aslında, çözümün amacı çıkış hidrografını elde etmektir. Kinematik dalga denkleminin sayısal çözümü analitik çözümden daha uygulanabiliridir.



Şekil 3.5: Kinematik dalga denkleminin çözümü için sonlu farklar gösterimi

Denklem (3.55)' u sayısal olarak çözmek için, Q nun zaman ve konum türevleri, Şekil 3.5' de gösterildiği gibi zaman-konum koordinatları üzerinde yaklaşıklardır. Bilinmeyen değer  $Q_{i+1}^{j+1}$ ' dir. İlk olarak j-zamandaki Q 'nun değerleri, daha sonrada j+1 zamandaki Q 'nun değerleri belirlenmektedir. Sonlu farklar denklemleri kullanılarak üretilen geriye doğru fark metodu ile bilinmeyen  $Q_{i+1}^{j+1}$  değeri bulunmaktadır. Geriye doğru fark metodu doğrusal bir yaklaşımdır.



Burada,  $Q_{i+1}$  'nun konum türevinin sonlu farklar formu

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} \quad (3.61)$$

gibi olmaktadır. Benzer şekilde  $Q_{i+1}$  'nun zaman türevinin sonlu farklar formu

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_{i+1}^j}{\Delta t} \quad (3.62)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eğer,  $Q_{i+1}^{j+1}$  'nun değeri denklem (5.62) daki  $\alpha\beta Q^{\beta-1}$  terimindeki  $Q$  'ya göre kullanılırsa, sonuç denklem  $Q_{i+1}^{j+1}$  'de doğrusal olmayabilir. Doğrusal bir denklem üretmek için, aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir,

$$Q = \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \quad (3.63)$$

Benzer şekilde, yanal akış

$$q = \frac{q_{i+1}^j + q_i^{j+1}}{2} \quad (3.64)$$

şeklindedir. Elde edilen bu değerler Denklem (3.44)' de yerine konulduğunda, denklem,

$$\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \left( \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_{i+1}^j}{\Delta t} \right) = \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \quad (3.65)$$

şeklini almaktadır. Burada bilinmeyen  $Q_{i+1}^{j+1}$  değeri eşitliğin bir tarafında bırakıldığında,  $Q_{i+1}^{j+1}$

$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha\beta Q_{i+1}^j \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} + \Delta t \left( \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \right) \right]}{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]} \quad (3.66)$$

olarak elde edilmektedir.

Yanal akışın olmadığı durumda ise,  $Q_{i+1}^{j+1}$

$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha\beta Q_{i+1}^j \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]}{\left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right]} \quad (3.67)$$

şeklini almaktadır.

Kinematik Dalga Modelinin Çözülmesi:

Kinematik dalga modelinde, modele giren veriler:

1. Barajdan akarsu yatağına bırakılan akım miktarı,  $(Q + R)_i^B$
2. Akım miktarı için öngörülen ulaşma zamanı,  $(T_i)$
3. Akarsu yatağındaki ortalama akım,  $(F_i^{Ort})$
4. Akarsu yatağının uzunluğu,  $(L_i)$
5. Akarsu yatağının eğimi,  $(S_o)$
6. Akarsu yatağındaki tabandaki sürtünme katsayısı,  $(n_i)$
7. Akarsu yatağındaki ortalama kesit özellikleri,  $(b_i, h_i, \text{dikdörtgen kesitli})$
8. Kesite göre elde edilen ıslak çevre,  $(P_i)$
9. Kinematik dalga yaklaşımı akım parametresi,  $(\beta = 0,6)$

şeklindedir. Burada,  $i=1,2,3,4$  olarak barajlar arası numarayı göstermektedir. Buradan, barajdan bırakılan akımların akarsu yatağında ötelenerek taşınması ve diğer barajda havzadan gelen akım üzerine ilave edilmesi süreci aşağıda verilmektedir.

1. Belirli bir zaman aralığı ( $dt_{Q+R}$ ) ve konum aralığı ( $dx$ ) seçilmektedir.
2. Kinematik dalga yaklaşımında  $\alpha_i$  akım parametresinin bulunmaktadır. Burada, bu akım parametresi,

$$\alpha_i = \left( \frac{n_i \cdot P_i^{2/3}}{S_o^{1/2}} \right)^{\beta_i} \quad (3.68)$$

elde edilmektedir.

3. Bu  $\alpha_i$  ve  $\beta_i$  akım parametreleri kullanılarak, dalga hızı hesaplanmaktadır. Dalga hızı

$$c_k = \left( \frac{1}{\alpha_i \cdot \beta_i \cdot (Q + R)_i^{\beta_i}} \right)^{\beta_i - 1} \quad (3.69)$$

şeklinde bulunmaktadır.

4. Dalga hızı, konum aralığına bölünerek, dalganın seyahat zamanı,  $dt_{c_k}$  belirlenmektedir. Yani,  $dx$  aralığındaki dalganın seyahat zamanı,

$$dt_{c_k} = dx / c_k \quad (3.70)$$

hesaplanmaktadır.

5. Başlangıçta öngörülen zaman aralığı ( $dt_{Q+R}$ ) ile dalganın seyahat zamanı ( $dt_{c_k}$ ) karşılaştırılmakta ve küçük olan zaman değeri seçilmektedir. Seçilen zaman aralığı ( $dt$ ) ile gösterilmektedir.

6. Akarsu uzunluğu ( $L_i$ ),  $dx$ 'e ve akım miktarı için öngörülen zaman ( $T_i^{Öngr}$ ),  $dt$ 'ye bölünerek grid sayıları elde edilmektedir. Yani, sırasıyla, zaman grid sayısı ( $M_t$ ) ve konum grid sayısı ( $N_x$ ),

$$M_t = T_i^{Öngr} / dt \quad (3.71)$$

$$N_x = L / (dx + 1) \quad (3.72)$$

şeklinde elde edilmektedir.

7. Her bir zaman ve konumdaki düğüm noktalarındaki akım değerleri denklem (3.67) ile belirlenmektedir.

8. Bu işlemler, her bir bırakılan akım değeri için yapılarak, diğer baraja ulaşma değeri ( $(Q + R)_i^{Ulaş}$ ) ve ulaşma zamanı ( $T_i^{Ulaş}$ ), öngörülen zaman ( $T_i^{Öngr}$ ) için elde edilen sonuçlar incelenerek belirlenmektedir. Barajdan bırakılan değerler maksimum olarak bırakılan akım miktarını geçmeyecek şekilde bırakılmaktadır.

9. Bu belirlenen değerler kullanılarak, barajlar arasında, bırakılan akım için ulaşma zamanı ve ulaşma değeri eğrileri ve denklemleri elde edilmektedir.

10. Bu eğriler veya denklemler kullanılarak, herhangi bir bırakım değerinin diğer baraja ulaşma zamanı ve ulaşma miktarı kolaylıkla belirlenebilmektedir.

11. Bu şekilde diğer baraja ulaşan akımlar, burada baraj havzasından gelen akımlar üzerine ilave edilmektedir. Burada, baraja havzasından gelen akım,

$$F_{i,f} = F_{i,f} + (Q + R)_i^{Ulaş} \quad (3.73)$$

şeklinde dinamik olarak değişmektedir. Kinematik dalga modeline ait akış şeması, Ek B Şekil B.6' da gösterilmektedir.

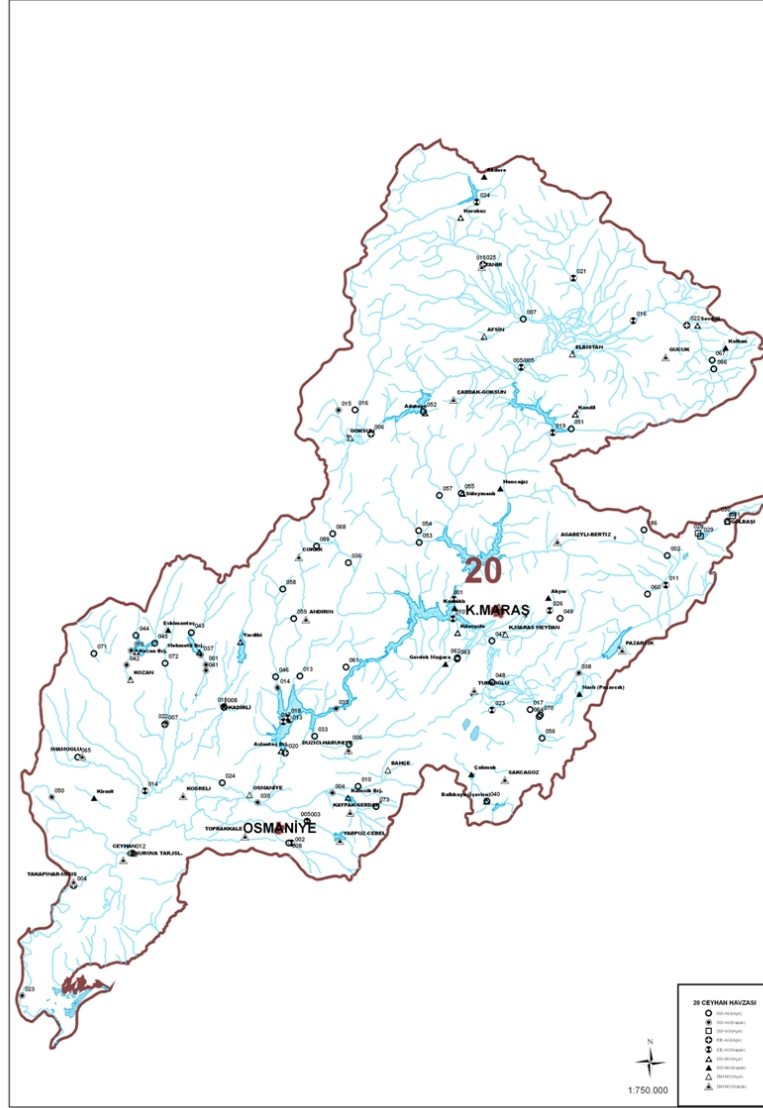
## 4. CEYHAN HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ

### 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.

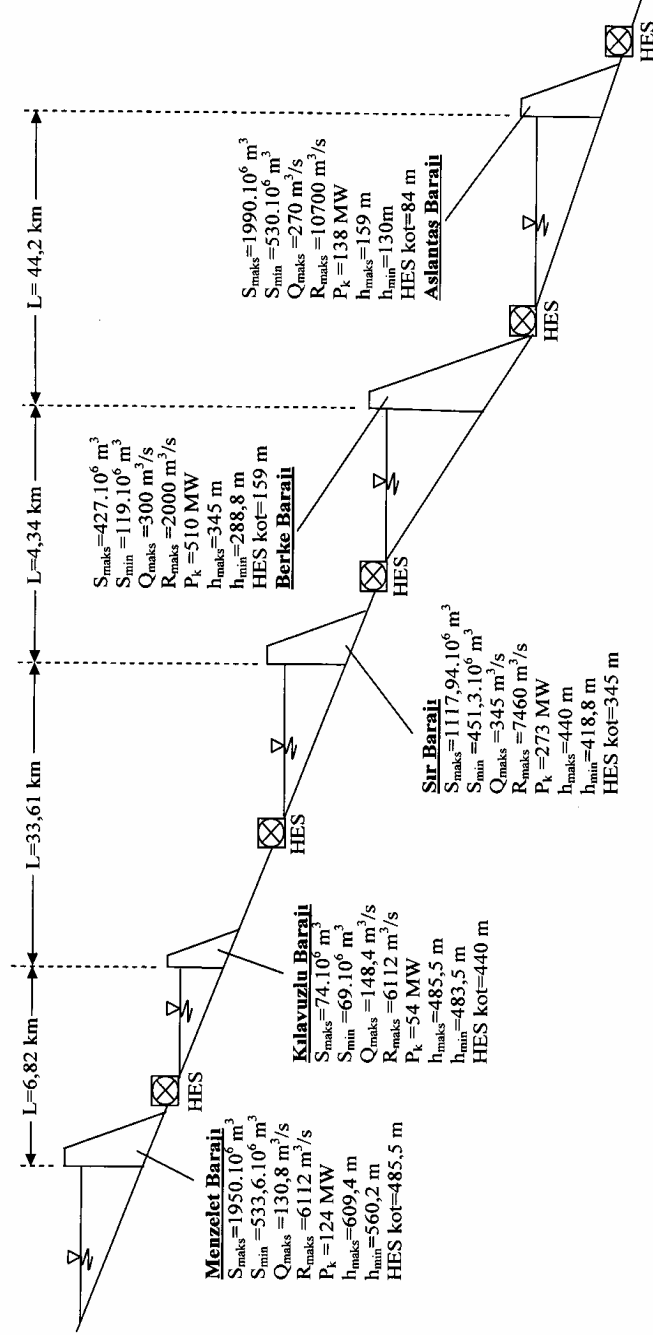
Ceyhan havzasının güneybatı kısımlarında tipik Akdeniz iklimi, memba kısımlarında ise karasal iklim hakimdir. Havzanın kuzeyinde, Afşin-Elbistan ovaları kesiminde, yıllık ortalama yağış 400-700 mm iken, Orta Ceyhan Kahramanmaraş-Narlı ovaları kesiminde 700-1000 mm ve Ceyhan ovasının güneyinde 1000-2000 mm olmak üzere membadan mansaba doğru artmaktadır. Ceyhan Nehri'nin mansapta yıllık ortalama akımı 7,180 milyar m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Ülkemizde bulunan 26 havzanın toplam ortalama yıllık akımı 186 milyar m<sup>3</sup> 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 kolü 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 <sup>2</sup> )	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 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1950	74	1117,94	427	1990
Minimum Hacim (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	533,6	69	451,3	119	530
Kuyruksuyu kotu (m)	485,5	440	345	159	84
Dolu Savak Kapasitesi(m <sup>3</sup> /s)	6112	6112	7460	2000	10700
Enerji Üretimi Kapasitesi (m <sup>3</sup> /s)	130,8	148,4	114,25	300	270
Aylık Maksimum Akım(m <sup>3</sup> /s)	497.43	508.27	782.57	799.07	898.74
Aylık Minimum Akım(m <sup>3</sup> /s)	0	9.02	19.05	19.39	19.65
Aylık Ortalama Akım(m <sup>3</sup> /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.

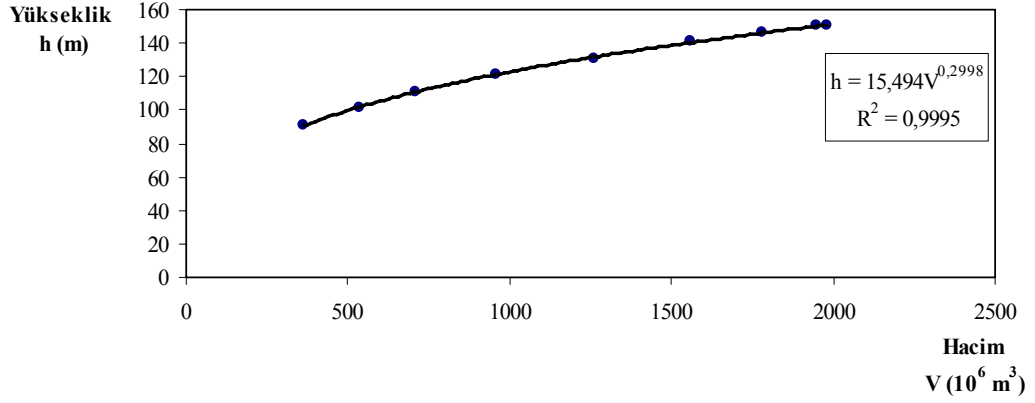
Herhangi bir baraja ait buharlaşma değeri, işletme esnasında barajın işletme seviyesini doğrudan etkilemektedir. Burada, herhangi bir barajda gölet yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma miktarı dönem sonuna ait işletme seviyesinden düşülmesi öngörüldüğü için uzun süreli işletme modeline göre yazılan bilgisayar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

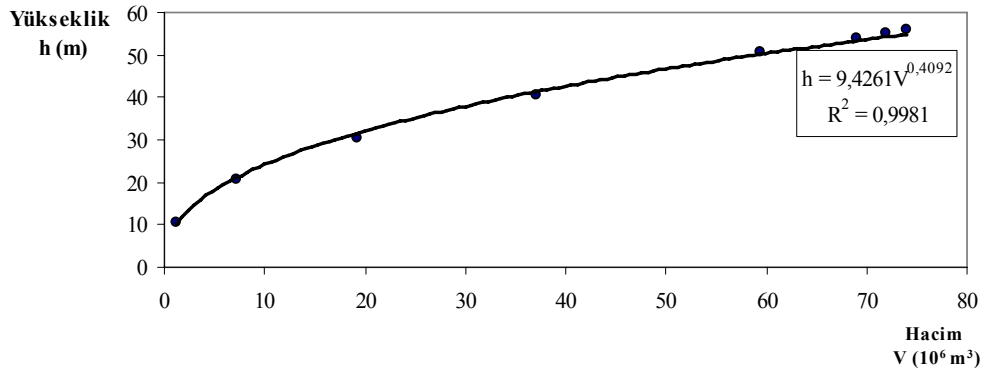
Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
48	10.4	30.3	82.7	132.8	197	242.7	227.6	157.7	89	34.9	11.1

## 4.3. Yükseklik-Hacim İlişkileri

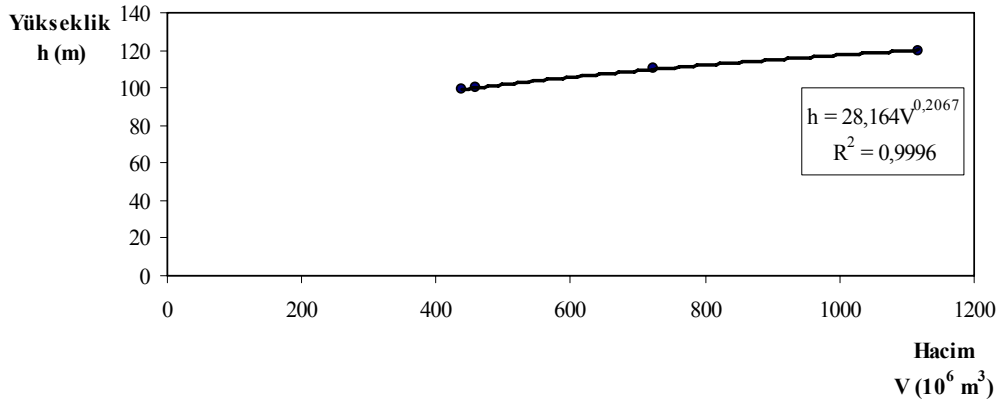
Enerji üretimi, barajdaki su yüksekliğine ve türbinden çıkan akıma bağlı olarak elde edilmektedir. Bu nedenle, barajda işletme seviyesine gelen su yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Buradan, Ceyhan Havzası'nda, Ceyhan Nehri'nin ana kolu üzerinde bulunan çok barajlı su kaynakları sisteminde barajlara ait hacim(depolanmış 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.



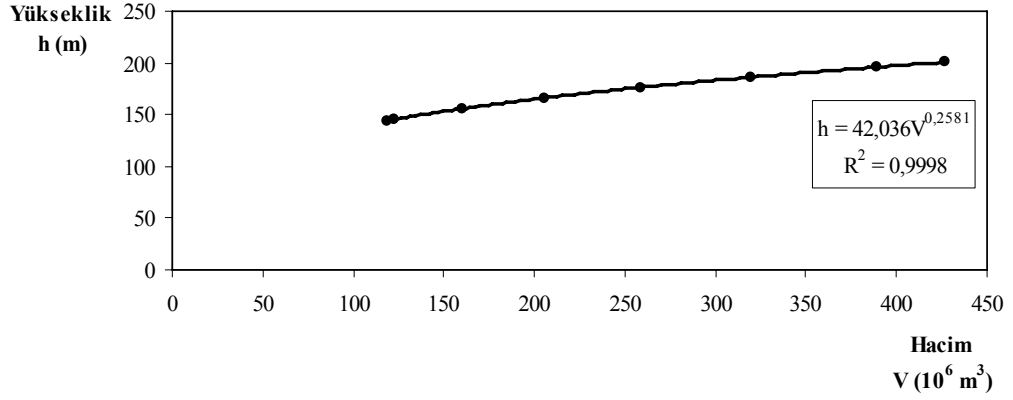
Şekil 4.8: Menzelet Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemleri ve regresyon değeri



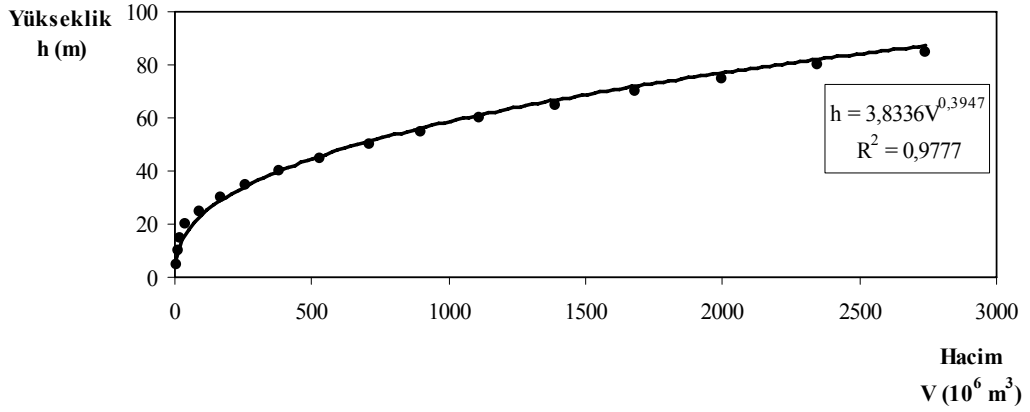
Şekil 4.9: Kılavuzlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemleri ve regresyon değeri



Şekil 4.10: Sır Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemleri 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<sup>3</sup> 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<sup>3</sup>))

Barajlar	a	n	R <sup>2</sup>
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<sup>2</sup>), 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<sup>3</sup>/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<sup>3</sup>/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<sup>3</sup>/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	11,78	561,43
14	1986	29,27	32,12	37,77	91,91	69,86	85,93	83,89	60,56	39,01	10,31	9,02	24,43	1188,22
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	238,49	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<sup>3</sup>/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	69,34	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<sup>3</sup>/s)  
[Akkulut, 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	190,39	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<sup>3</sup>/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	259,34	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<sup>3</sup>/s)

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

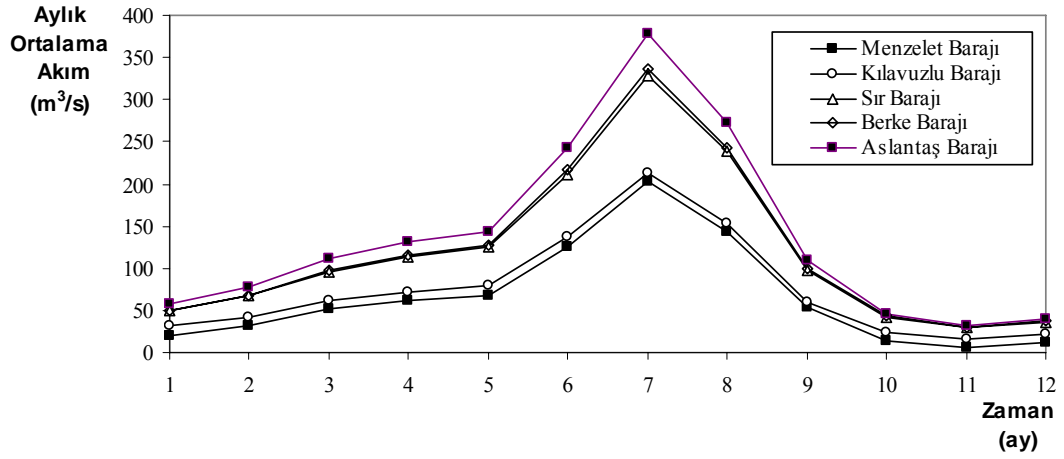
Tablo 4.11.a

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

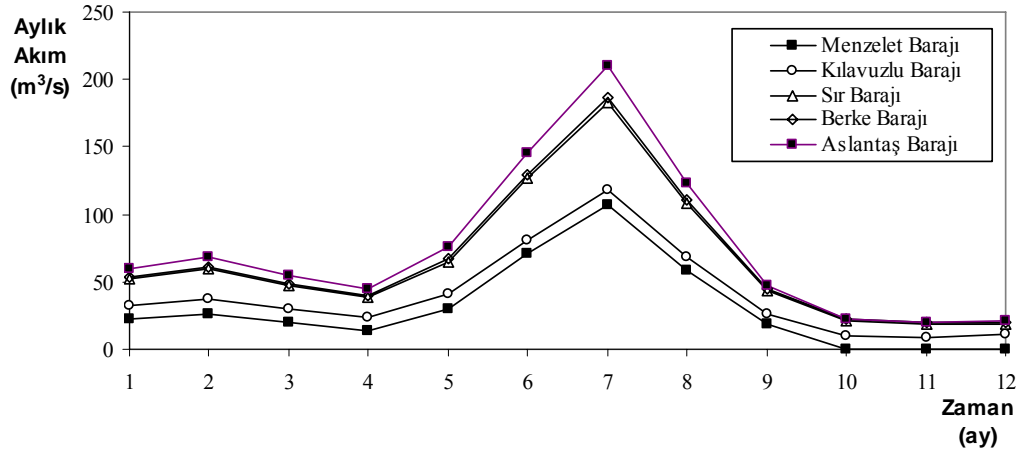
Tablo 4.11.b

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.



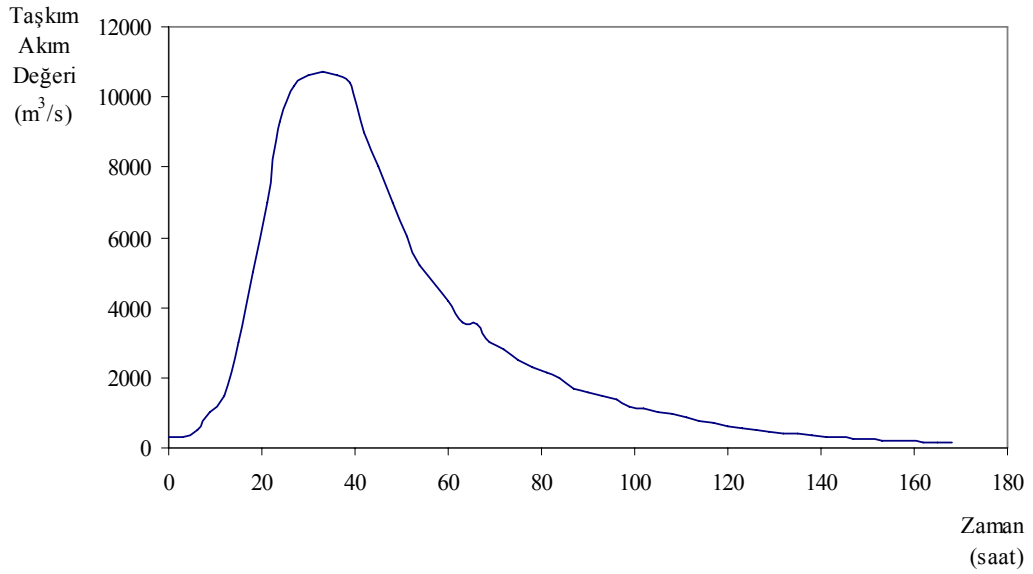
Şekil 4.13: Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar



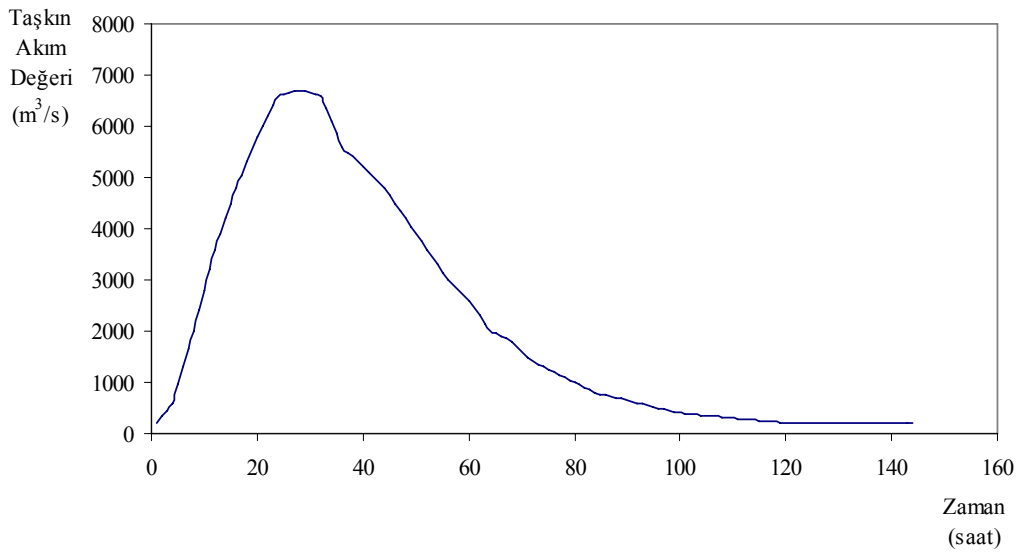
Şekil 4.14: Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar

#### 4.6. Taşkın Hidrografları

Barajlardan beklenen faydalar arasında enerji üretiminden başka taşkından korunma amacı da bulunmaktadır. Burada, Ceyhan Havzası'nda, Ceyhan Nehri üzerinde bulunan çok barajlı su kaynakları sistemindeki barajlardan Menzelet ve Aslantaş Barajları hem enerji üretimi hem de taşkından korunma amaçlı olarak planlanmıştır.



Şekil 4.15: Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 10.000 yıllık taşkın hidrografı [Açanal, 1993]



Şekil 4.16: Menzelet Barajına havzasından gelebilecek 100 yıllık PMF taşkın hidrografı [Açanal, 1993]

Burada, kısa süreli planlamada, Menzelet ve Aslantaş Barajlarına gelen çeşitli tekerrür aralıklarına sahip taşkın hidrografları önem kazanmaktadır. Her iki baraja ait çeşitli tekerrür aralığına sahip taşkın hidrografları karşılaştırıldığında, Menzelet Barajı'na ait olan taşkın hidrografları ön plana çıkmaktadır. Burada, Menzelet Barajı'na ait 10.000 yıl tekerrür aralıklı taşkın hidrografı Şekil 4.15' de, 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografı Şekil 4.16' de gösterilmektedir.

Kısa süreli işletme modelinde, Şekil 4.16, Menzelet Barajı için havzasından gelen taşkın hidrografı akım değerleri olarak alınmakta, diğer barajlara havzasından gelen akım değerleri için ise, ortalama akım olarak öngörülen  $1.10^6$  m<sup>3</sup>/saat değeri kullanılmaktadır. Bu değer, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak su miktarına eşit olacak şekilde belirlenmiştir. Sisteme giren bu hidrograflar göz önüne alınarak, kısa süreli işletme modeli için optimal taşkın kontrol işletme seviyeleri belirlenmektedir. Bu belirlenen seviyeler gerçek zamanlı işletme modelinde, taşkın durumunda başlangıç seviyesinin elde edilmesinde uzun süreli işletmeye ait aylık optimal normal işletme seviyeleri ile bütünleştirilmek üzere veri olarak kullanılmaktadır.

Gerçek zamanlı işletme modelinde, taşkın durumunda barajların havzasından gelebilecek akım verileri olarak, Menzelet Barajı için Bölüm 5, Şekil 5.28'de gösterilen akım hidrografı ile diğer barajlarda akım ve yatak özellikleri gözetilerek üretilen ve Bölüm 5, Şekil 5.29, 30, 31, 32' de gösterilen akım hidrografları kullanılmaktadır.

## 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, 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

1. Tablo 5.4' de, barajlardaki aylık buharlaşma değerleri

şeklinde verilmektedir.

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

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 <sup>3</sup> )	195	8	112	43	199
$S_i^{Min}$ ( $10^7$ m <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> /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

### 5.1.2. Güvenilir gücün enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Güvenilir güç,  $P_G=163.970$  MW, ortalama güç,  $P_{ort}=243.260$  MW, maksimum güç,  $P_{Maks}=1084,600$  MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=15

Tablo 5.5' de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

Tablo 5.6' da, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Tablo 5.7' de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.8' de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Şekil 5.1' de, Menzelet Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.2' de, Kılavuzlu Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.3' de, Sır Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.4' de, Berke Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.5' de, Aslantaş Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi

Şekil 5.6' da, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

şeklinde elde edilmiştir.

Kurak dönemin aylık akımları ile yapılan uzun süreli işletme sonucunda, aylık minimum işletme seviyeleri, güvenilir gücü enbüyükleyecek şekilde belirlenmiştir. Elde edilen aylık minimum işletme seviyelerine bakıldığı zaman, en büyük faydalı hacme sahip olan barajlardaki işletme seviyelerindeki değişim güvenilir gücün enbüykenmesinde 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 5.5: Barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

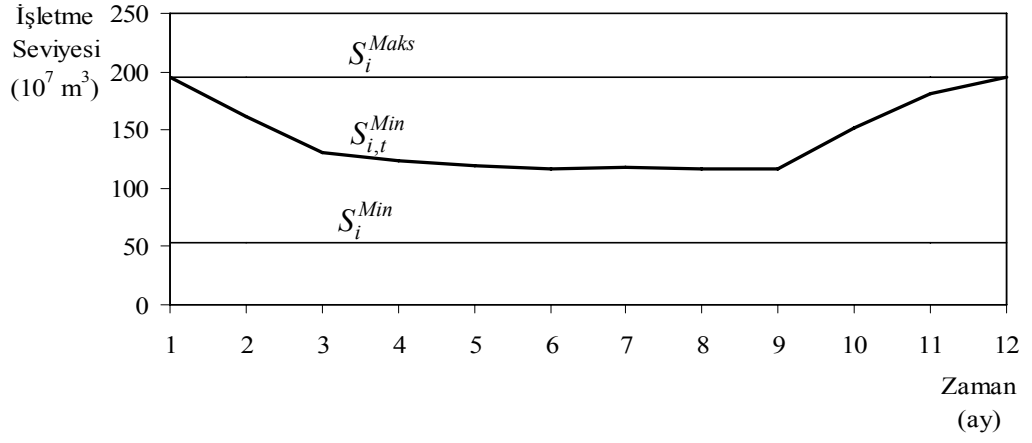
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet ( $10^7 m^3$ )	34	30	7	6	6	5	6	5	0	0	1	5
Kılavuzlu ( $10^7 m^3$ )	38	31	10	9	9	8	10	8	3	3	3	7
Sır ( $10^7 m^3$ )	92	0	12	13	13	13	12	13	13	13	13	12
Berke ( $10^7 m^3$ )	89	2	12	12	12	13	12	13	14	14	14	12
Aslantaş ( $10^7 m^3$ )	60	10	11	12	12	12	13	12	19	18	16	13

Tablo 5.6: Barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

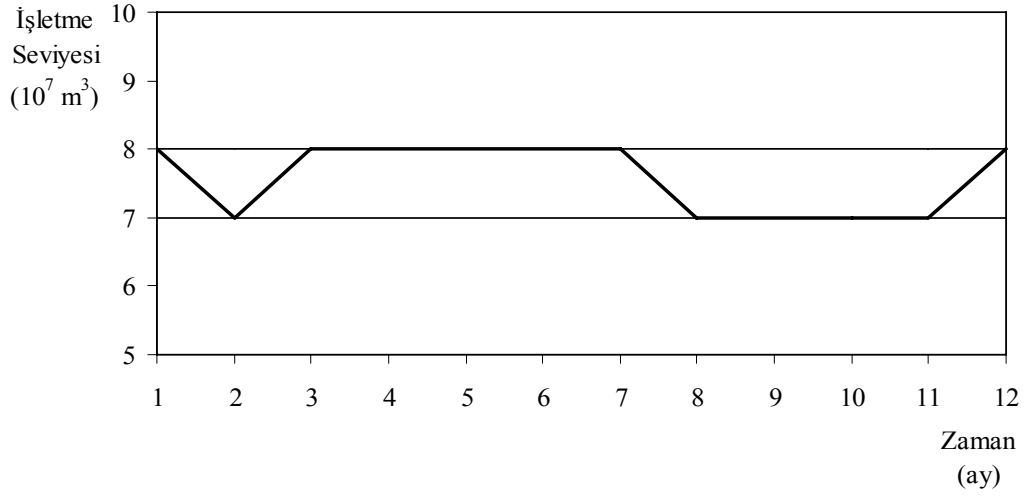
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılavuzlu ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sır ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Berke ( $10^7 m^3$ )	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aslantaş ( $10^7 m^3$ )	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.7: Barajlardaki kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

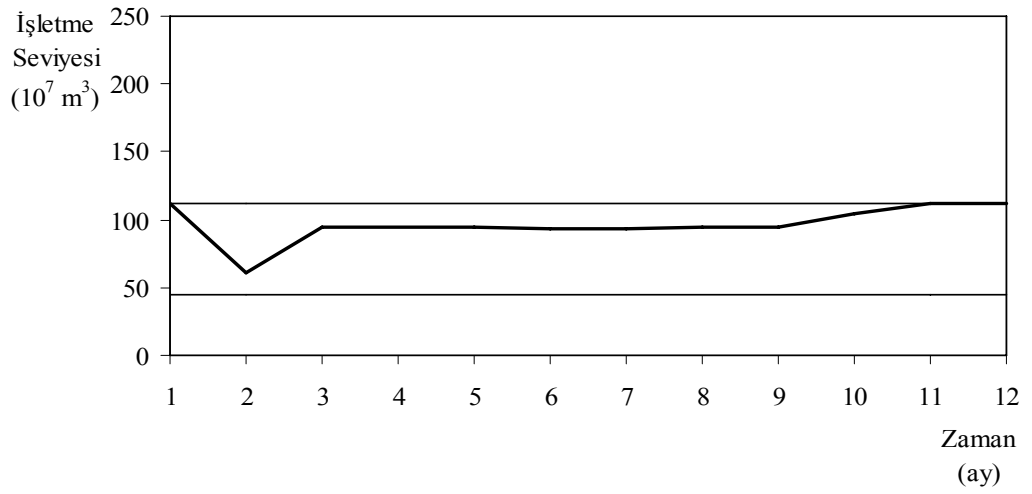
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet ( $10^7 m^3$ )	195	161	131	124	120	117	118	116	117	151	181	195
Kılavuzlu ( $10^7 m^3$ )	8	7	8	8	8	8	8	7	7	7	7	8
Sır ( $10^7 m^3$ )	112	61	95	95	94	93	93	94	94	104	112	112
Berke ( $10^7 m^3$ )	43	43	41	41	42	43	43	43	43	43	43	43
Aslantaş ( $10^7 m^3$ )	199	199	191	192	192	192	194	193	195	197	198	199



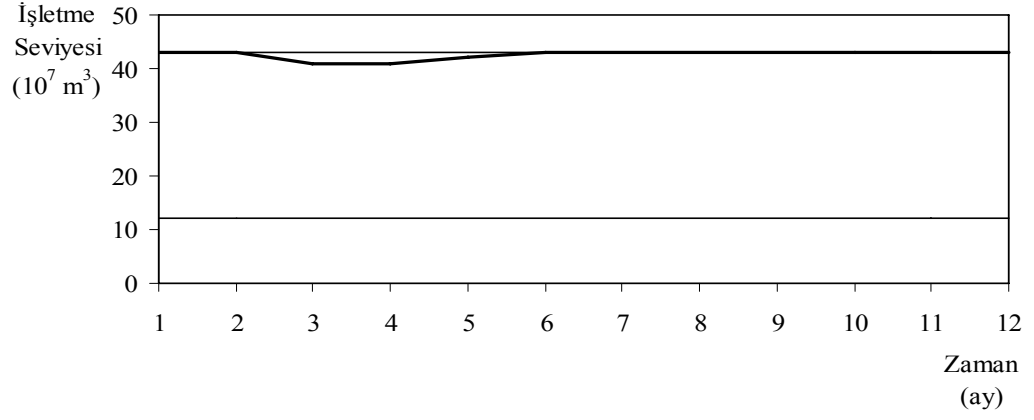
Şekil 5.1: Menzelet Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



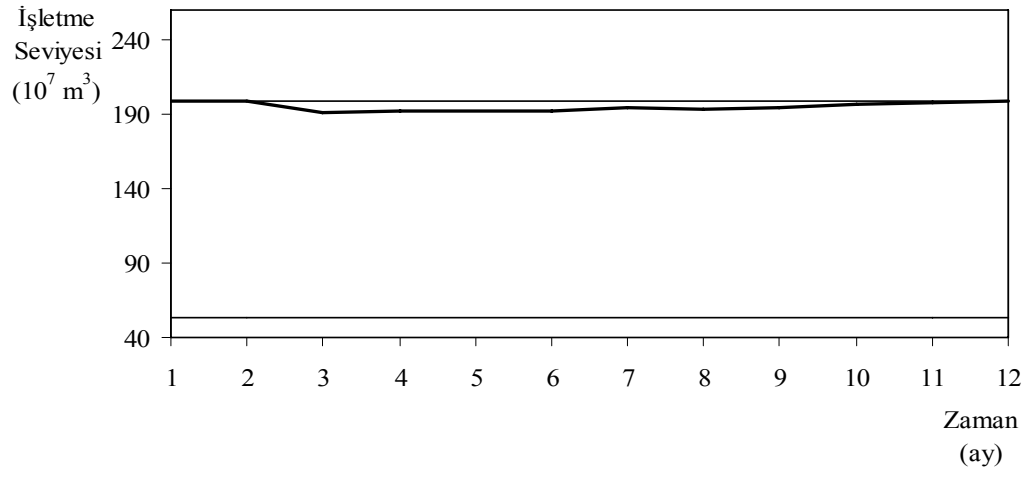
Şekil 5.2: Kılavuzlu Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



Şekil 5.3: Sır Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



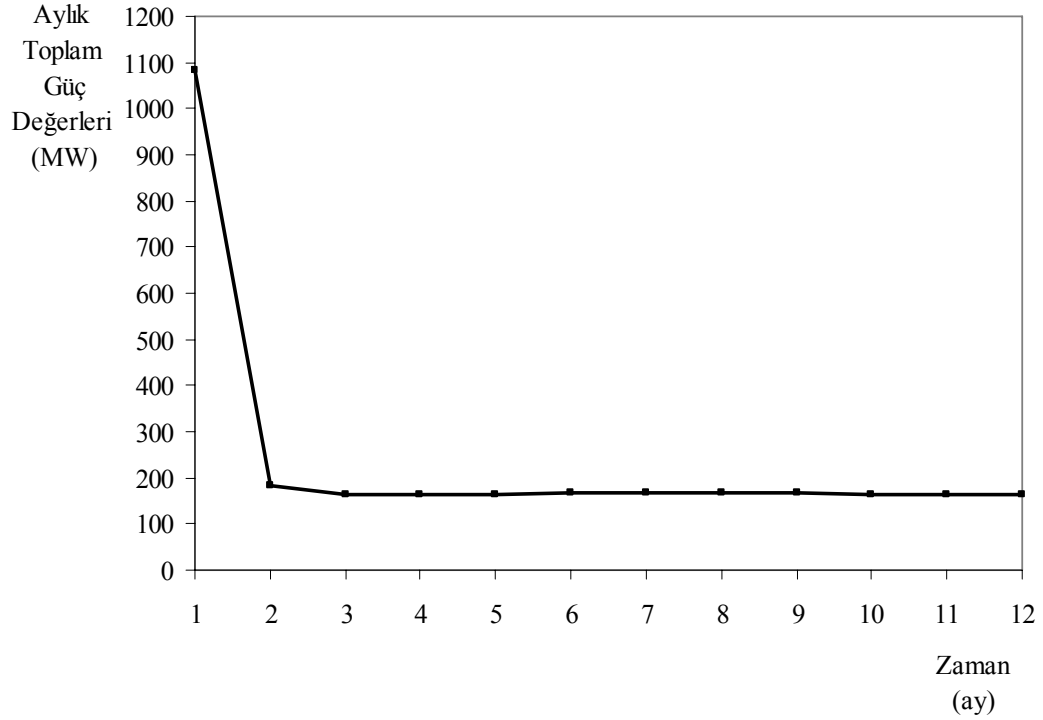
Şekil 5.4: Berke Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi



Şekil 5.5: Aslantaş Barajı'nda, aylık minimum işletme seviyesi

Tablo 5.8: Barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar(MW)					Toplam (MW)
	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş	
<b>Temmuz</b>	125,07	54,569	250,7	511,02	143,23	<b>1084,6</b>
<b>Ağustos</b>	102,55	44,517	0	11,408	23,682	182,16
<b>Eylül</b>	22,777	14,36	33,475	67,991	25,892	164,5
<b>Ekim</b>	19,173	12,924	36,265	68,45	28,246	165,06
<b>Kasım</b>	18,994	12,924	36,163	68,902	28,246	165,23
<b>Aralık</b>	15,779	11,488	36,06	74,644	28,304	166,27
<b>Ocak</b>	18,873	14,36	33,381	68,902	30,725	166,24
<b>Şubat</b>	15,728	10,745	36,163	74,644	28,361	165,64
<b>Mart</b>	0	4,0293	36,664	80,385	45,086	166,16
<b>Nisan</b>	0	4,0293	37,517	80,385	42,884	164,82
<b>Mayıs</b>	3,7529	4,3081	37,879	80,385	38,194	164,52
<b>Haziran</b>	19,017	10,052	34,965	68,902	31,033	<b>163,97</b>



Şekil 5.6: Kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, buharlaşma miktarlarının gözetildiği kritik dönemin aylık akımları ile güvenilir güç enbüyüklenmekte ve güvenilir güç  $P_G=163,970$  MW olarak elde edilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nde barajların güvenilir gücün bulunması için (III. DSİ Hidroloji Semineri, 1979),

$$P_G = 3.08.10^{-3} \left( \frac{V_a}{L} + q_{\min} \right) \left( h_{\min} + \frac{2}{3} h_a \right) \quad (5.1)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Burada;

$V_a$  :Aktif hacim ( $10^6 \text{ m}^3$ )

$L$  : Kurak dönem ay sayısı (12 ay)

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

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

$h_a$  : Aktif hacim yüksekliği (m)

göstermektedir.

Tablo 5.9: Ceyhan Havzası'ndaki sisteme ait barajların güvenilir güç değerleri,  $P_G$ , (MW)

Barajlar	$V_a$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$q_{\min}$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$h_{\min}$ (m)	$h_a$ (m)	$P_G$ (MW)
Menzelet	1416,4	0	74,7	49,2	39,081
Kılavuzlu	5	23,37984	43,5	2	3,286
Sır	666,64	49,3776	73,8	21,2	28,419
Berke	308	50,9328	129,8	56,2	39,463
Aslantaş	1460	50,9328	46	29	34,732
<b>Toplam</b>					144,980

Tablo 5.9' da bu yaklaşım kullanılarak barajlara ait güvenilir güç değerleri verilmektedir. Buna göre toplam güvenilir güç  $P_G=144,980$  MW olmaktadır. Buradan, bu model ile elde edilen güvenilir güç  $P_G=163,970$  MW, Denklem (5.1) kullanılarak elde edilen güvenilir güçten % 13 daha büyüktür.

### 5.1.3. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modele giren veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli planlama için işletme optimizasyonunda, modele girilen veriler:

Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı

Tablo 5.10' da, 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

1. Tablo 5.4' de, barajlardaki aylık buharlaşma değerleri

Güvenilir güç,  $P_g = 163970$  kW

şeklinde verilmektedir.

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

Tablo 5.10: Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar

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

#### 5.1.4. Toplam enerjinin enbüyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Toplam enerjinin enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Minimum güç,  $P_{Min}$  =166080 MW, ortalama güç,  $P_{ort}$  =438.340 MW, maksimum güç,  $P_{Maks}$  =788.090 MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=20

Tablo 5.11' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

Tablo 5.12' de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

Tablo 5.13' de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

Şekil 5.7' de, Menzelet Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.8' de, Kılavuzlu Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.9' da, Sır Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.10' da, Berke Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.11' de, Aslantaş Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi,

Şekil 5.12' de, toplam aylık güç değeri

Tablo 5.14' de, 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 5.11: 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 <sup>3</sup> )	4	6	6	34	6	1	20	34	34	15	27	14
Kılavuzlu ( $10^7$ m <sup>3</sup> )	7	9	8	38	8	5	22	38	36	18	30	16
Sır ( $10^7$ m <sup>3</sup> )	12	14	11	44	12	14	31	49	55	47	52	25
Berke ( $10^7$ m <sup>3</sup> )	13	13	12	43	13	14	32	51	55	50	52	26
Aslantaş ( $10^7$ m <sup>3</sup> )	15	12	13	45	13	17	33	55	60	60	60	28

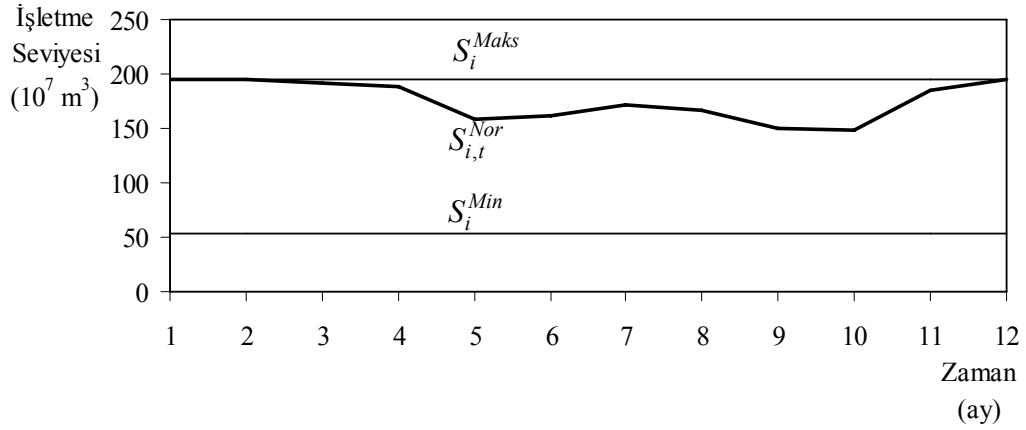


Tablo 5.12: Barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

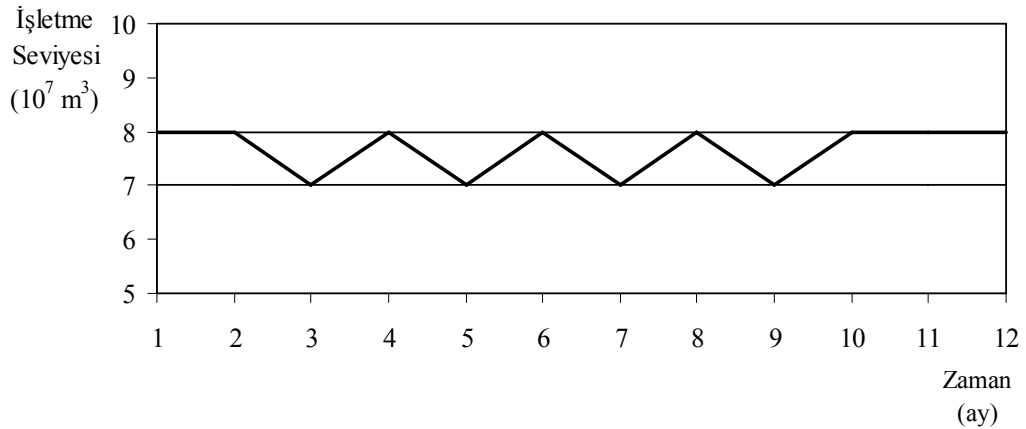
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılavuzlu ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sır ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Berke ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aslantaş ( $10^7 m^3$ )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.13: Barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri

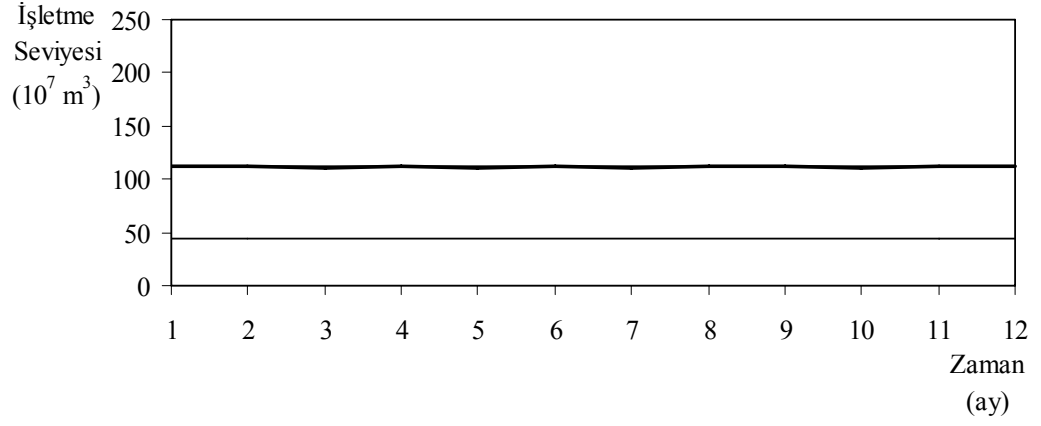
Barajlar	Aylar											
	T	A	E	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H
Menzelet ( $10^7 m^3$ )	195	195	191	188	159	161	172	167	150	148	185	195
Kılavuzlu ( $10^7 m^3$ )	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8	8
Sır ( $10^7 m^3$ )	112	112	111	112	111	112	111	112	112	111	112	112
Berke ( $10^7 m^3$ )	43	42	43	42	43	42	43	43	42	43	42	43
Aslantaş ( $10^7 m^3$ )	199	198	199	199	198	199	198	199	198	199	199	199



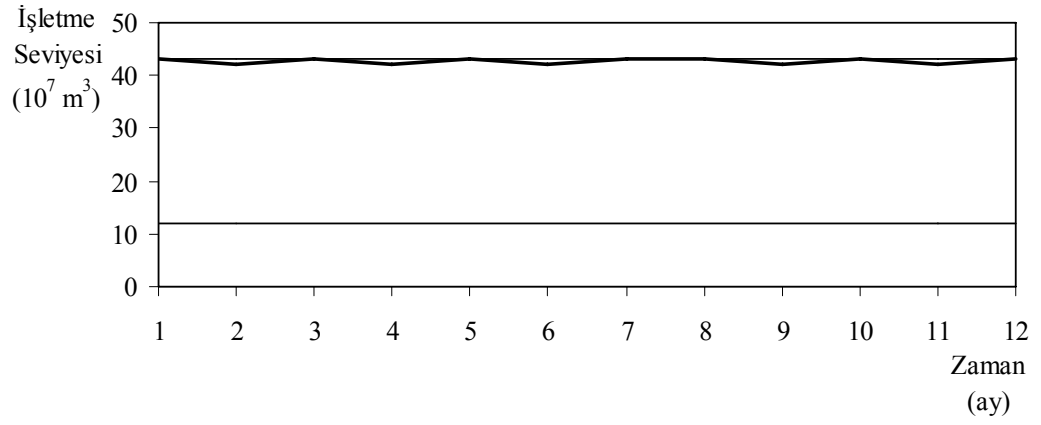
Şekil 5.7: Menzelet Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



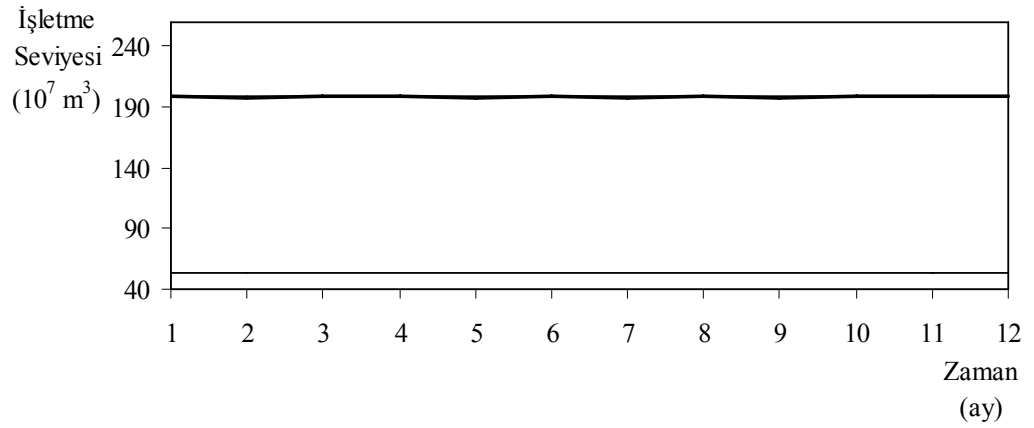
Şekil 5.8: Kılavuzlu Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



Şekil 5.9: Sır Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



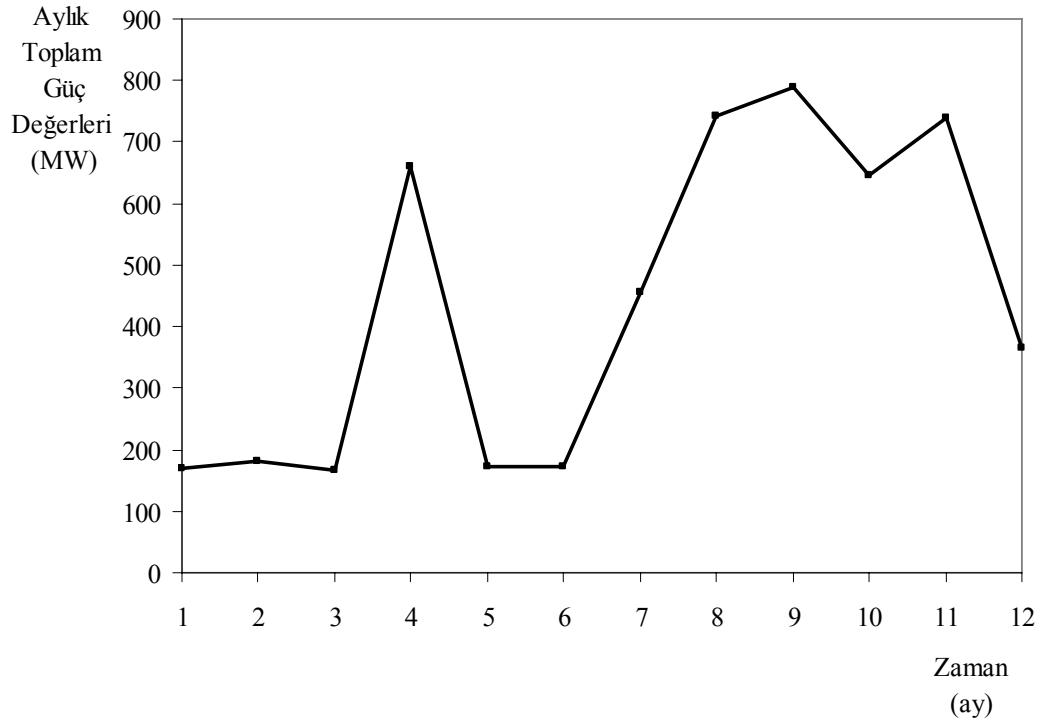
Şekil 5.10: Berke Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi



Şekil 5.11: Aslantaş Barajı'nda, aylık normal işletme seviyesi

Tablo 5.14: Barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar(MW)					Toplam (MW)
	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş	
Temmuz	15,214	10,052	34,965	74,644	35,807	170,68
Ağustos	22,734	12,924	40,792	74,644	28,646	179,74
Eylül	22,604	11,488	32,051	68,902	31,033	<b>166,08</b>
Ekim	124,02	54,569	128,2	246,9	107,42	661,11
Kasım	21,219	11,488	34,965	74,644	31,033	173,35
Aralık	3,593	7,1802	40,792	80,385	40,581	172,53
Ocak	72,336	31,593	90,326	183,74	78,776	456,77
Şubat	119,97	54,569	142,77	292,83	131,29	741,44
Mart	117,11	51,697	160,26	315,8	143,23	<b>788,09</b>
Nisan	53,895	25,849	136,95	287,09	143,23	647,01
Mayıs	101,72	43,081	151,51	298,57	143,23	738,12
Haziran	53,249	22,977	72,843	149,29	66,84	365,2



Şekil 5.12: Aylık toplam güç değerleri

Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta, buharlaşma miktarlarının gözetildiği ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve ortalama güç  $P_{ort} = 438.340$  MW olarak elde edilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nde barajların ortalama gücün ( $P_{ort}$ ) bulunması için (III. DSİ Hidroloji Semineri, 1979),

$$P_{ort} = 3.08.10^{-3} q_{ort} \cdot \sum_{i=1}^5 h_{i,maks} \quad (5.2)$$

ifadesi verilmektedir. Ortalama akım,  $q_{ort}$ ,

$$q_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^5 q_{i,ort} \cdot h_{i,maks}}{\sum_{i=1}^5 h_{i,maks}} \quad (5.3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada

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

$q_{i,ort}$  : Her i-barajında, aylık ortalama akım ( $10^6$  m<sup>3</sup>)

göstermektedir.

Tablo 5.15: Ceyhan Havzasındaki sisteme ait barajların ortalama güç değerleri,  $P_{ort}$ , (MW)

Barajlar	$q_{i,ort}$	$h_{i,maks}$	$\sum q_{i,ort} \cdot h_{i,ort}$	$q_{ort}$	$\sum h_{i,maks}$	$P_{ort}$ (MW)
<b>Menzelet</b>	66	123,9	8170	107	525,4	173,151
<b>Kılavuzlu</b>	76	45,5	3463			
<b>Sır</b>	120	95	11367			
<b>Berke</b>	122	186	22741			
<b>Aslantaş</b>	137	75	10252			

Tablo 5.15' de barajlara ait verilen verilerden, ortalama güç,  $P_{ort} = 173,151$  MW olarak elde edilmiştir. Buna göre, uzun dönemli işletmede, aylık ortalama akımlar kullanılarak toplam enerjinin enbüyüklenmesi optimizasyonunda elde edilen

ortalama güç, Denklem (5.2) ile elde edilen değerden % 153 (2,53 katı) kadar daha büyüktür.

## 5.2. Kinematik Dalga Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

### 5.2.1. Modele giren veriler

Kinematik dalga modelinde, barajların akstan aksa birbirlerine olan uzaklıkları, Google Earth GPS programı kullanılarak belirlenmiştir. Buradan elde edilen değerler ile barajlar arasındaki akarsuya ait hidrolik eğim hesaplanmıştır. Akarsu yatağına ait ortalama bir sürtünme katsayısı (Manning katsayısı,  $n$ ) ve ortalama bir kesit büyüklüğü (dikdörtgen kesit için,  $b$ ,  $h$ ) seçilerek akarsuyun taşıdığı ortalama debi( $Q$ ), Manning denklemi kullanılarak elde edilmiştir. Burada, barajlar arası akarsu kesitinin ve yatağının özellikleri ile ilgili veriler, Tablo 5.16' da verilmektedir.

Tablo 5.16: Barajlar arası akarsu kesitinin ve yatağının özellikleri

Barajlar	L	H	S	n	b	H	A	P	R	Q
Menzelet-Kılavuzlu	6820	123.9	0.0182	0.025	1.5	30	45	33	1.36	298
Kılavuzlu-Sır	35610	45.5	0.0013	0.025	2.5	48	120	53	2.26	295
Sır-Berke	4340	95	0.0219	0.025	1.4	30	42	32.8	1.28	293
Berke-Aslantaş	45610	186	0.0041	0.025	2	40	80	44	1.82	304

Burada,

L :Uzunluğu (m),

H :Kotu (m),

S :Hidrolik eğimi,

n :Ortalama Manning katsayısını,

b :Akarsu kesitinin ortalama su yüzeyi genişliğini (m),

h :Akarsu kesitinde ortalama su yüksekliğini (m),

A :Akarsu kesit alanını ( $m^2$ ),

P :Akarsu kesitinde ıslak çevreyi (m),

- R :Akarsu kesitine ait hidrolik yarıçapı (m),  
Q :Akarsuyun ortalama debisini ( $m^3/s$ ),

göstermektedir. Tablo 5.16’ da elde edilen ortalama debilere bakıldığında, her bir baraj arası için ortalama debi yaklaşık  $300 m^3/s$  olarak alınabilir.

### 5.2.2. Modelden çıkan veriler

Kinematik dalga modeli ile elde edilen sonuçlar:

Şekil 5.13’ de, Menzelet Barajı’ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı’na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

Şekil 5.14’ de, Kılavuzlu Barajı’ndan bırakılan akımın Sır Barajı’na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

Şekil 5.15’ de, Sır Barajı’ndan bırakılan akımın Berke Barajı’na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

Şekil 5.16’ de, Berke Barajı’ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı’na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

Şekil 5.17’ de, Menzelet Barajı’ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

Şekil 5.18’ de, Kılavuzlu Barajı’ndan bırakılan akımın Sır Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

Şekil 5.19’ de, Sır Barajı’ndan bırakılan akımın Berke Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

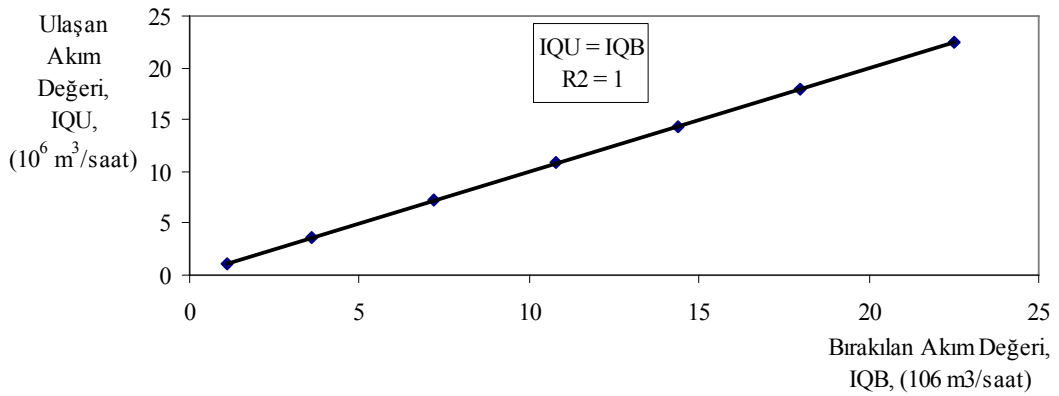
Şekil 5.20’ de, Berke Barajı’ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı’na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri,

şeklinde verilmektedir.

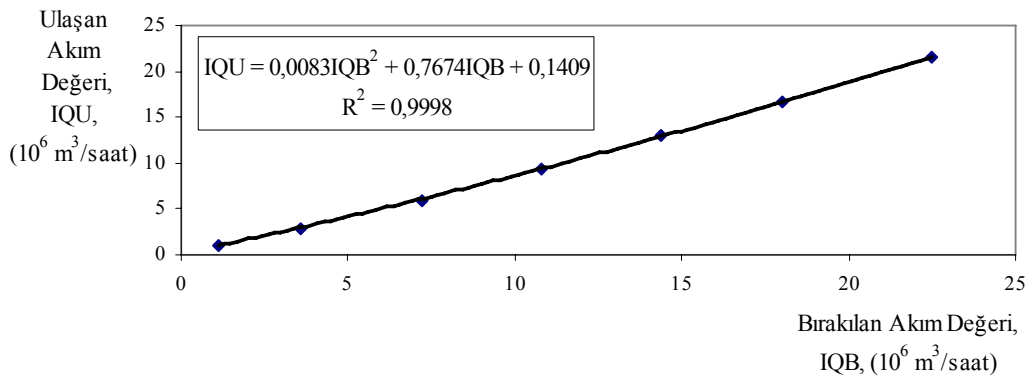
Barajdan akarsu yatağındaki ortalama akım üzerine bırakılan akımın değeri, diğer baraja seyahati esnasında azalarak ulaşmaktadır. Bu ulaşma değeri, barajlar arası

mesafeye, akarsu yatağındaki sürtünmeye ve kesit özelliklerine, akarsuyun debisine bağlı olarak değişebilmektedir.

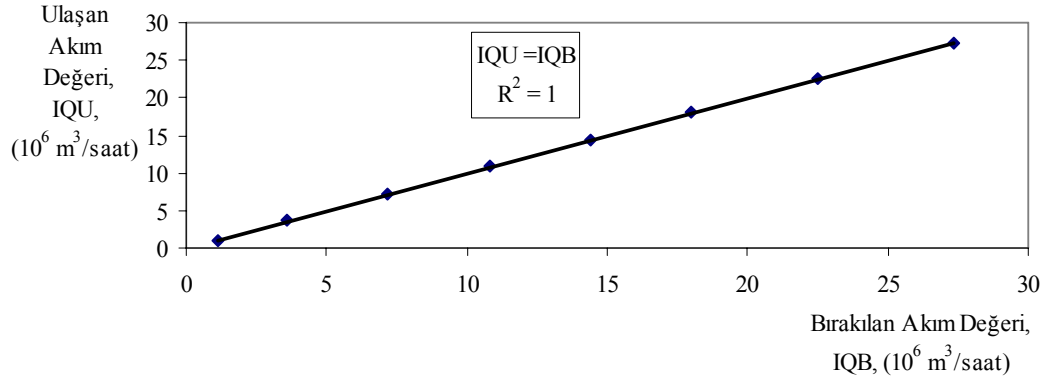
Barajlar arasında, kinematik dalga modeli kullanılarak barajdan bırakılan akımın diğer baraja ulaşma değerinin eğrileri, denklemleri ve regresyon değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.13 ve Şekil 5.15’ de, barajdan bırakılan akım, diğer baraja değişmeden ulaşmıştır. Şekil 5.14 ve Şekil 5.16’da ise, barajdan bırakılan akım, diğer baraja azalarak ötelenmiştir. Buradan, barajlar arası mesafe ne kadar artarsa barajdan bırakılan akım değeri, diğer baraja o kadar azalarak seyahat etmektedir. Ayrıca barajlar arası mesafe çok küçük ise, barajdan bırakılan akım değeri, diğer baraja değişmeden ulaştığı sonucuna varılmıştır.



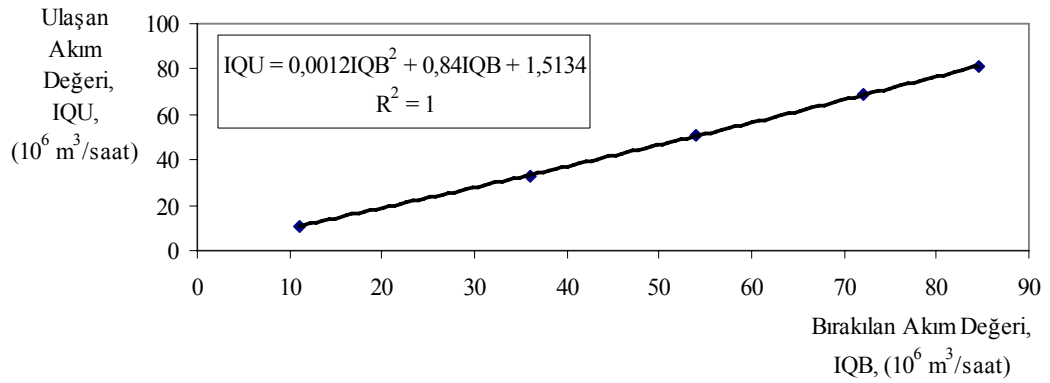
Şekil 5.13: Menzelet Barajı'ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 5.14: Kılavuzlu Barajı'ndan bırakılan akımın Sır Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 5.15: Sır Barajı'ndan bırakılan akımın Berke Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



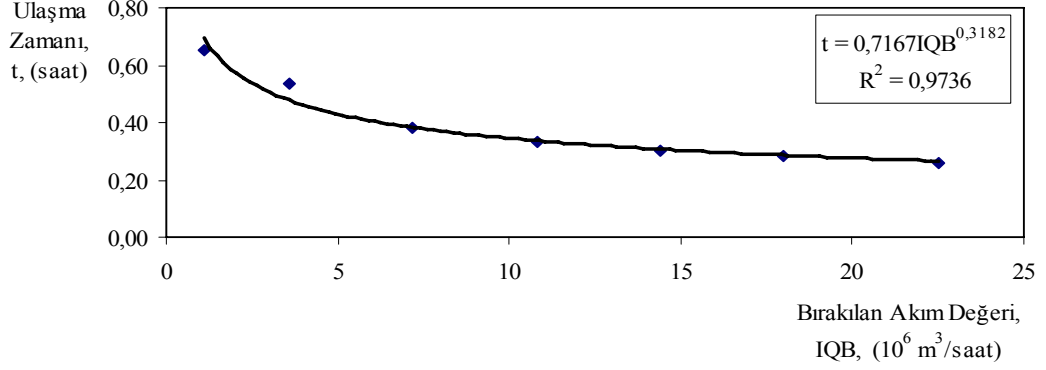
Şekil 5.16: Berke Barajı'ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı'na ulaşma değerinin eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

Barajdan akarsu yatağındaki ortalama akım üzerine bırakılan akımın diğer baraja ulaşma zamanı, barajlar arası mesafeye, akarsu yatağındaki sürtünmeye ve kesit özelliklerine, akarsuyun debisine bağlı olarak değişmektedir.

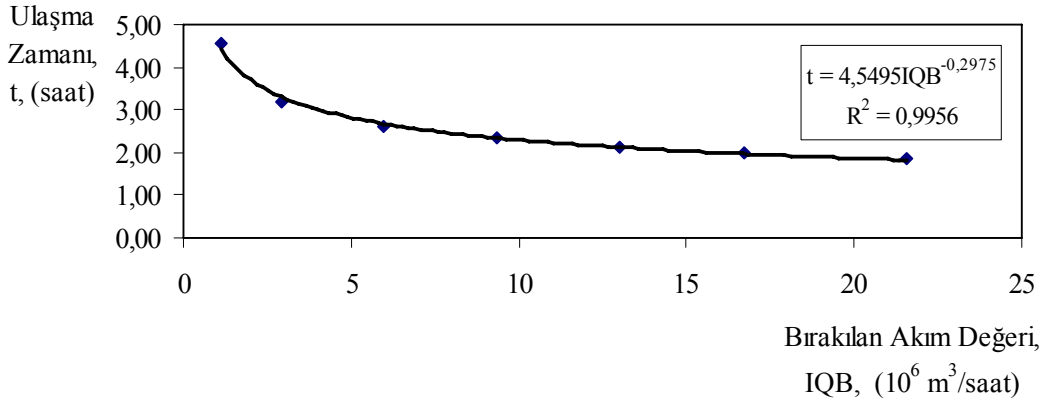
Barajlar arasında, kinematik dalga modeli kullanılarak barajdan bırakılan akımın diğer baraja ulaşma zamanının eğrileri, denklemleri ve regresyon değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.17, 18, 19 ve 20' de, barajdan bırakılan akım miktarı büyüdüğü zaman ulaşma zamanı küçüldüğü görülmüştür. Şekil 5.17 ve Şekil 5.19' da, barajdan bırakılan akımın diğer baraja ulaşma zamanı ile Şekil 5.18 ve Şekil 5.20' deki ulaşma zamanı değerleri birbirinden farklı olmuştur. Bu farkın nedeni barajlar arası



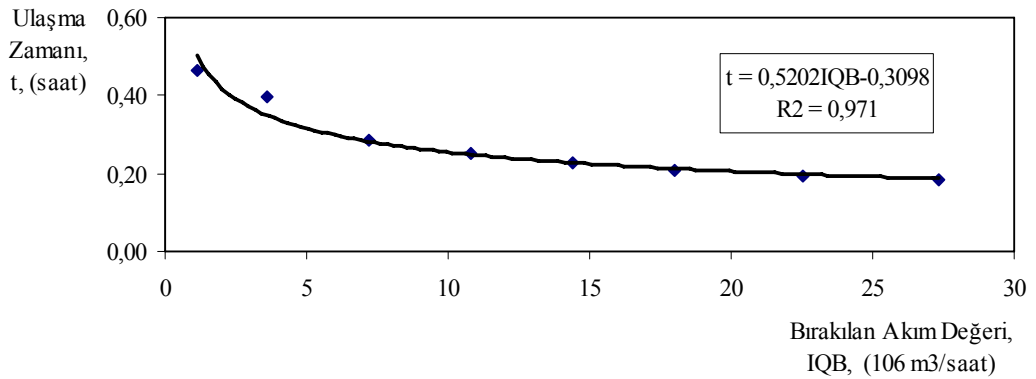
mesafeden kaynaklanmaktadır. Barajlar arası mesafe artıkça ulaşma zamanı artmakta, azaldıkça azalmaktadır.



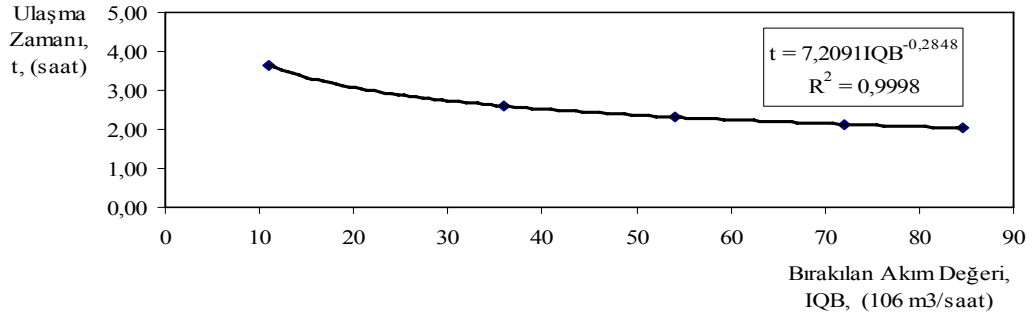
Şekil 5.17: Menzelet Barajı'ndan bırakılan akımın Kılavuzlu Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 5.18: Kılavuzlu Barajı'ndan bırakılan akımın Sır Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 5.19: Sır Barajı'ndan bırakılan akımın Berke Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 5.20: Berke Barajı'ndan bırakılan akımın Aslantaş Barajı'na ulaşma zamanının eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

### 5.3. Kısa Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

#### 5.3.1. Modele giren veriler

Taşkın durumunda barajlardan bırakılan akımın enküçüklenmesi için yapılan kısa süreli planlama için işletme optimizasyonunda, modele girilen veriler:

Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı,

Şekil 5.21' de, Menzelet Barajı'na havzasından gelen 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografı (Tasarım amaçlı taşkın hidrografı, 150 saatlik akım verileri),

Tablo 5.17' de, barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak maksimum toplam akım miktarları,

Tablo 5.18' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

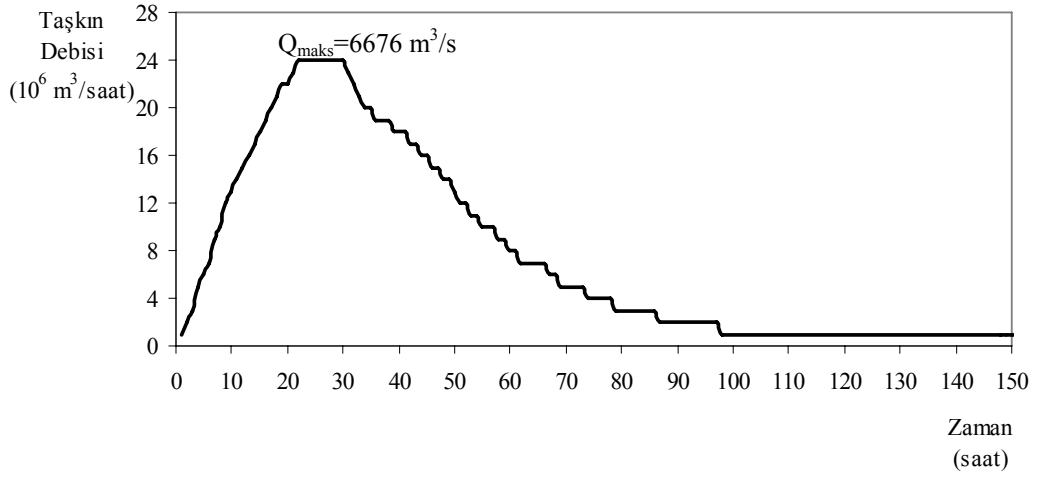
şeklinde verilmektedir. Burada, diğer barajlarda havzalarından gelen akım değeri  $1.10^6 \text{ m}^3/\text{saat}$  olarak alınmıştır. Bu değer, akarsu yatağındaki ortalama debiye eşit olacak şekilde belirlenmiştir.

Tablo 5.17: Barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak maksimum toplam akım miktarları

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
$(Q + R)_i^{Maks}$ ( $10^6 \text{ m}^3/\text{saat}$ )	23	23	29	9	39

Tablo 5.18: Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
$S_i^{Maks}$ ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	1950	80	1120	430	1990
$S_i^{Min}$ ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	530	70	450	120	530



Şekil 5.21: Menzelet Barajı'na havzasından gelen 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografi (Tasarım amaçlı taşkın hidrografi, 150 saatlik akım verileri)

### 5.3.2. Modelden çıkan veriler

Taşkın durumunda barajlardan bırakılan akımın enküçüklenmesi için yapılan kısa süreli işletme neticesinde:

Yineleme sayısı, ICOUNT=10,

Şekil 5.22' de, taşkın durumunda, barajlardan bırakılan toplam akım miktarı,

Şekil 5.23' de, Menzelet Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

Şekil 5.24' de, Kılavuzlu Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

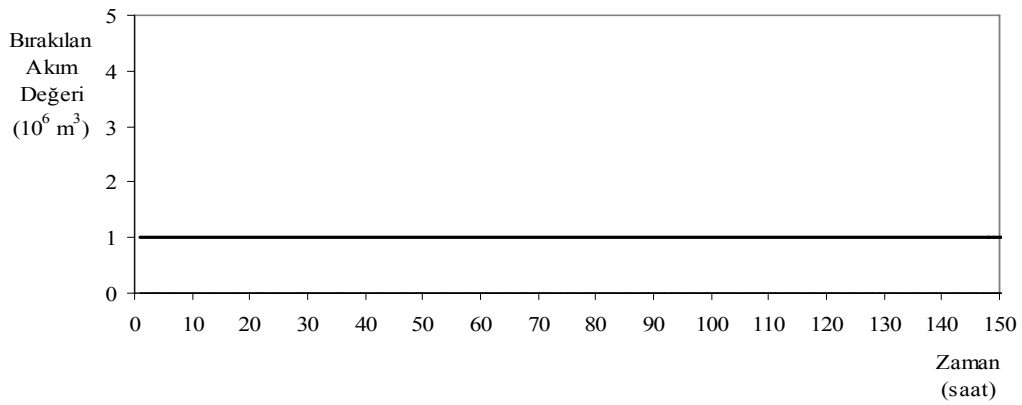
Şekil 5.25' de Sır Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

Şekil 5.26' da, Berke Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

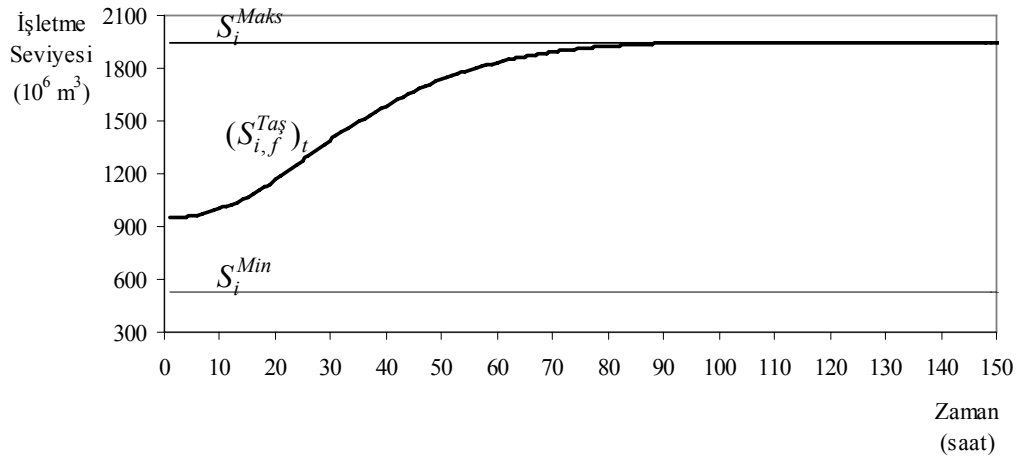
Şekil 5.27' de, Aslantaş Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi,

Tablo 5.19’ da, barajlardaki optimal taşkın kontrol seviyeleri ( $f=150$  saat,  $t=12$ . ay içinde),

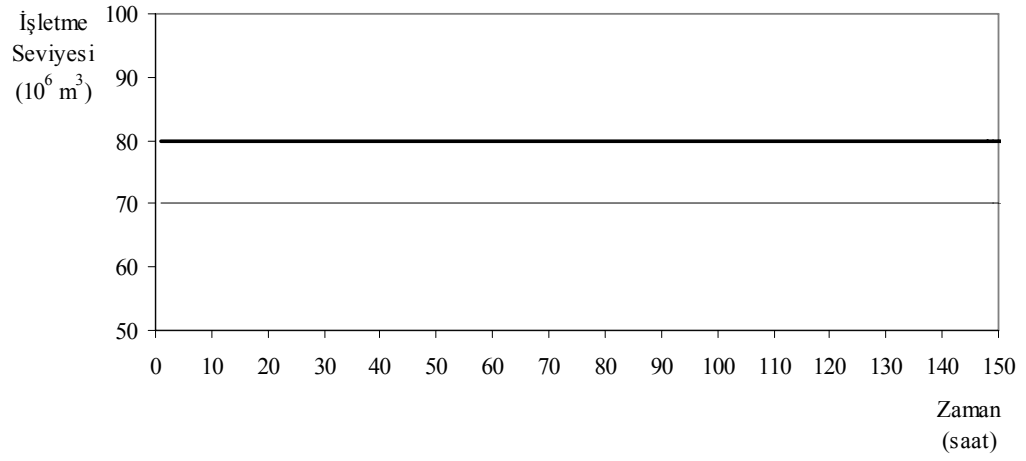
elde edilmiştir. Burada, taşkın durumunda kısa süreli işletme sonucunda, havzadan gelen akımlar çok barajlı sistem tarafından ilave taşkın hacmi kullanarak depolanmakta ve barajdan bırakılan akımlar enküçüklenmektedir. Elde edilen taşkın kontrol seviyelerine bakıldığı zaman, Menzelet Barajı’na havzasından gelen taşkın hidrografi akımlarının barajdan bırakılmadan depolanması için belirli bir taşkın hacmi ayrıldığı (Şekil 5.23), görülmektedir. Burada, taşkını karşılamak için ayrılan hacim yeterli olduğu için, diğer barajlarda, ilave taşkın hacmine gerek kalmamıştır, (Şekil 5.24, 25, 26 ve 27). Barajlardan bırakılan akımlar havzadan gelen akımları etkilemeyecek büyüklükte olduğu, Şekil 5.22’ de, görülmektedir.



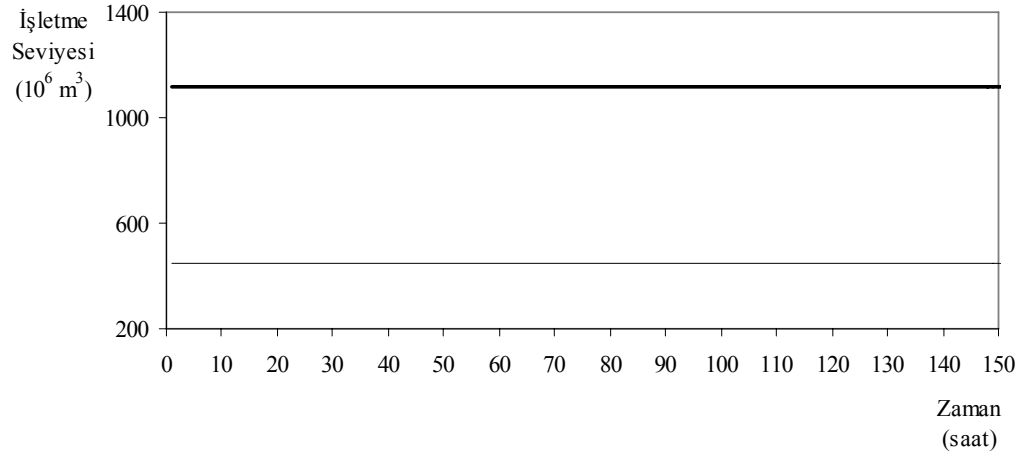
Şekil 5.22: Taşkın durumunda, her bir barajdan bırakılan toplam akım miktarı



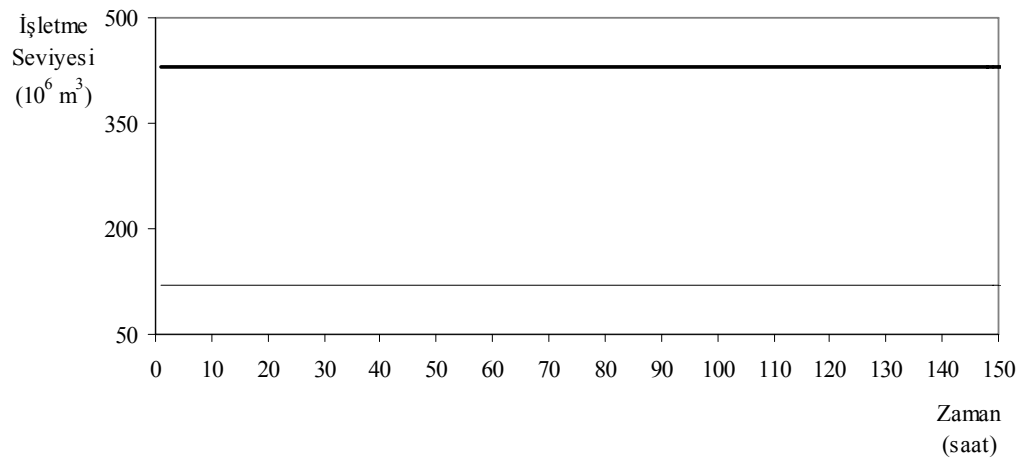
Şekil 5.23: Menzelet Barajı’nda taşkın kontrol seviyesi



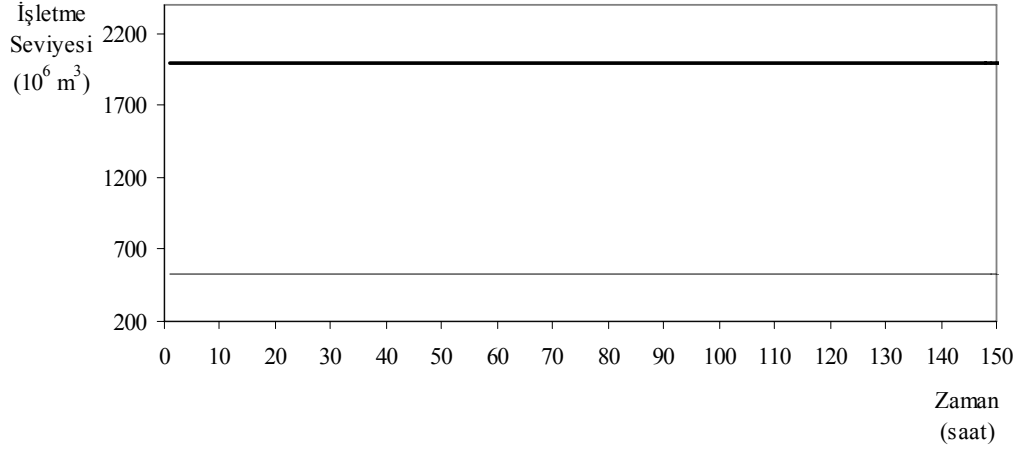
Şekil 5.24: Kılavuzlu Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.25: Sır Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.26: Berke Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.27: Aslantaş Barajı'nda taşkın kontrol seviyesi

Tablo 5.19: Barajlardaki optimal taşkın kontrol seviyeleri (f=150 saat, t=12. ay içinde)

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
$S_{i,t}^{Taş}$ ( $10^6 m^3$ )	953	80	1120	430	1990

## 5.4. Gerçek Zamanlı Optimal İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

### 5.4.1. Modele giren veriler

Gerçek zamanlı işletme optimizasyonunda, modele girilen veriler:

Baraj sayısı ve dönem sayısı,

Tablo 5.17' de, barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak maksimum toplam akım miktarları,

Tablo 5.18' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri,

Tablo 5.20' de, barajlara havzasından gelen ortalama akım miktarları,

Şekil 5.28' de, Menzelet Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı (içerisinde 100 yıllık PMF taşkın akım verileri bulunmakta)

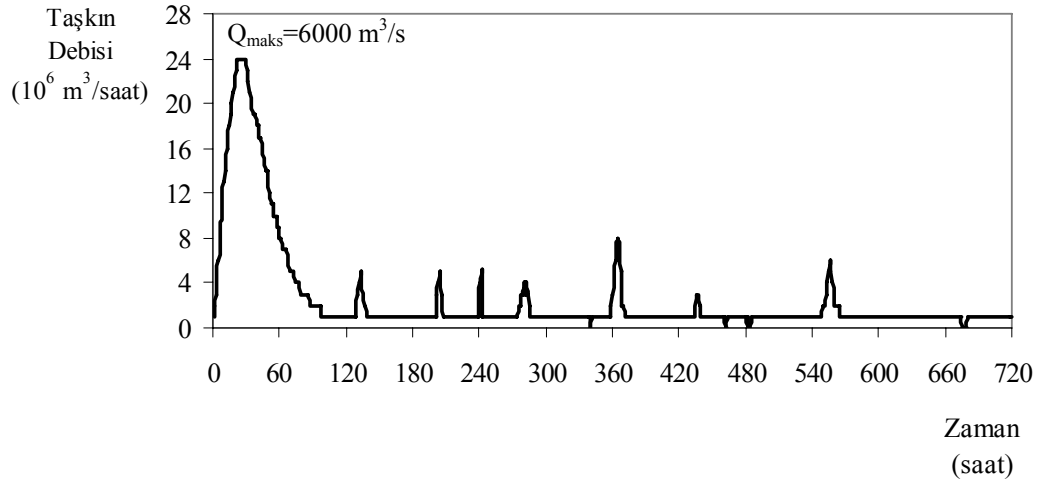
Şekil 5.29' da, Kılavuzlu Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı,

Şekil 5.30' da, Sır Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı,  
 Şekil 5.31' de, Berke Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı,  
 Şekil 5.32' de, Aslantaş Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı,  
 Şekil 5.33' de, Menzelet Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi,  
 Şekil 5.34' de, Kılavuzlu Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi,  
 Şekil 5.35' de, Sır Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi,  
 Şekil 5.36' da, Berke Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi,  
 Şekil 5.37' de, Aslantaş Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi,  
 Tablo 5.21' de, Haziran ayına ait barajlardaki aylık normal, minimum işletme ve optimal taşkın kontrol seviyeleri,  
 Şekil 5.38' de, Menzelet Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografı,  
 Şekil 5.39' da, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografı,  
 Şekil 5.40' da, Sır Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografı,  
 Şekil 5.41' de, Berke Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografı,  
 Şekil 5.42' de, Aslantaş Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografı,  
 şeklinde verilmektedir.

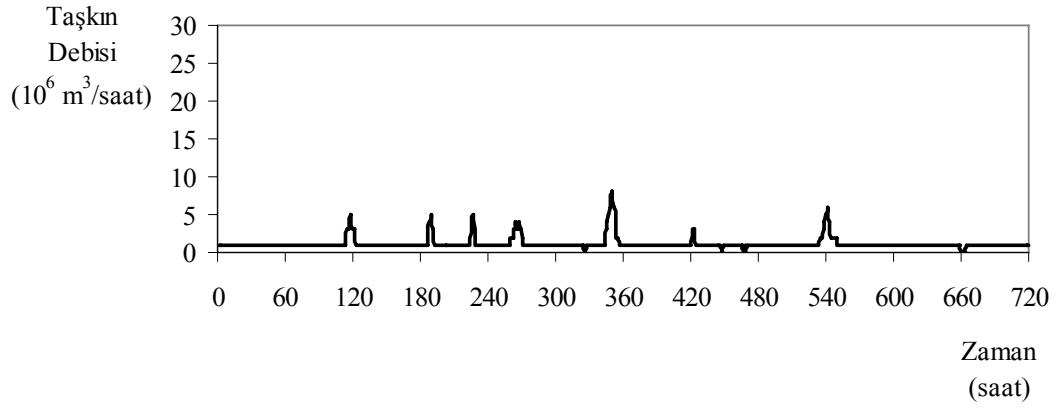
Tablo 5.20: Barajlara havzasından gelen ortalama akım miktarları

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
$Q_i^{Ort}$ ( $10^6$ m <sup>3</sup> /saat)	1	1	1	1	1

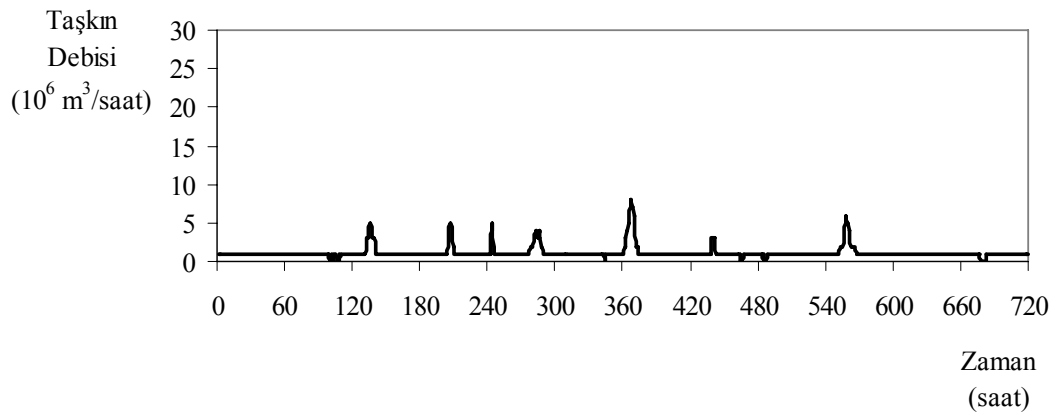
Şekil 5.28, 29, 30, 31 ve 32' de, tasarım amaçlı taşkın hidrografının akım değerleri kullanılarak yapılan kısa süreli işletme sonucunda, Şekil 5.33, 34, 35, 36 ve 37' deki barajlar için taşkın kontrol seviyeleri elde edilmiştir. Burada, havzadan gelen akımlar çok barajlı sistem tarafından ilave taşkın hacimleri kullanarak depolanmakta ve barajdan bırakılan akımların pik değeri enküçüklenmektedir.



Şekil 5.28: Menzelet Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı (içerisinde 100 yıllık PMF taşkın akım verileri bulunmaktadır)

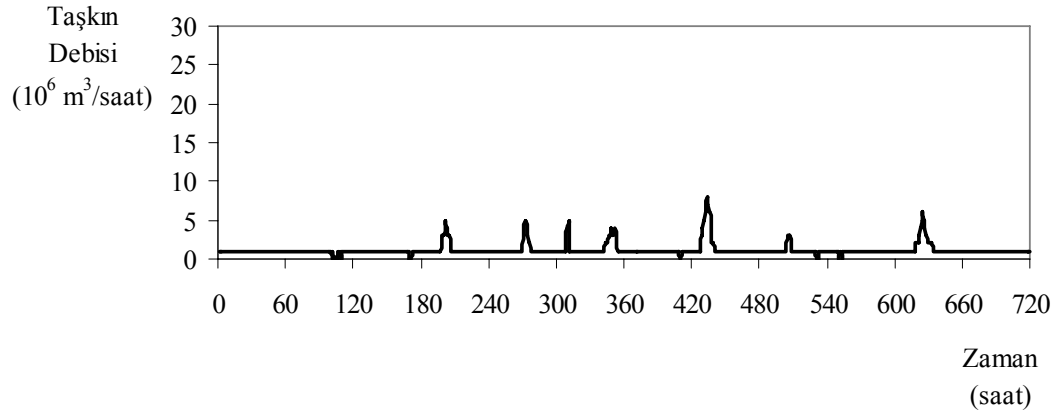


Şekil 5.29: Kılavuzlu Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı

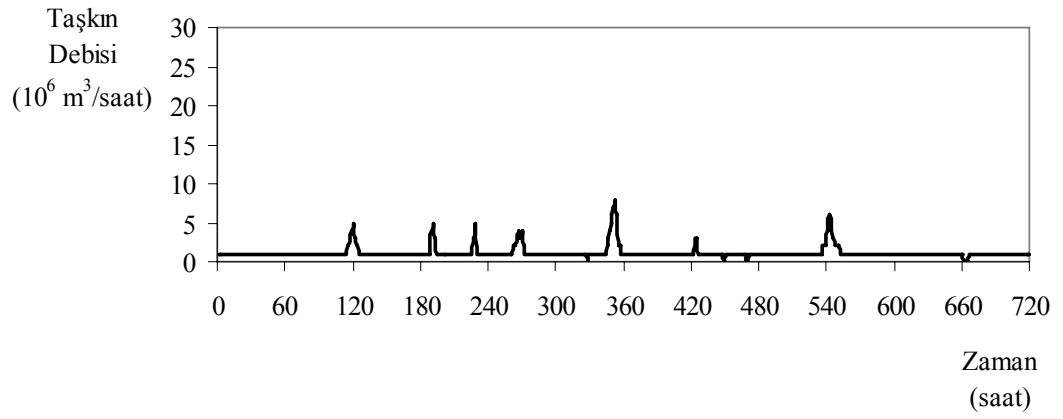


Şekil 5.30: Sır Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı

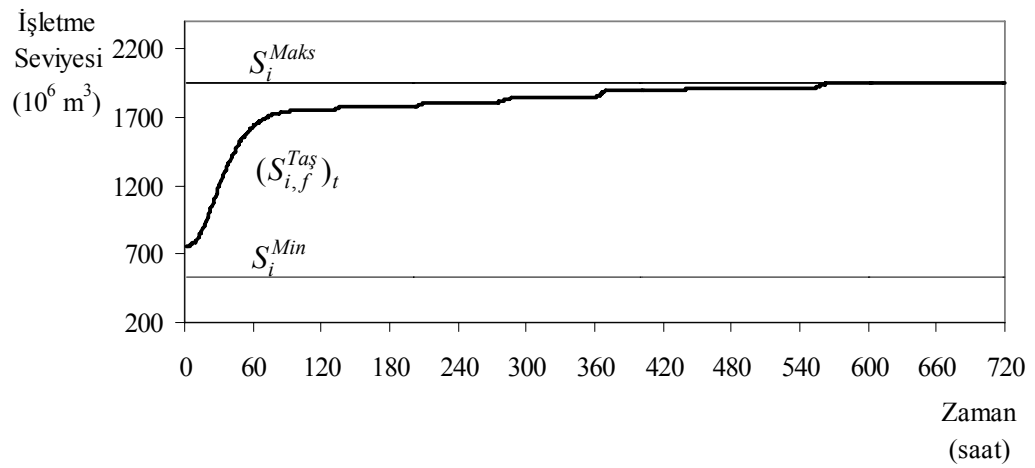




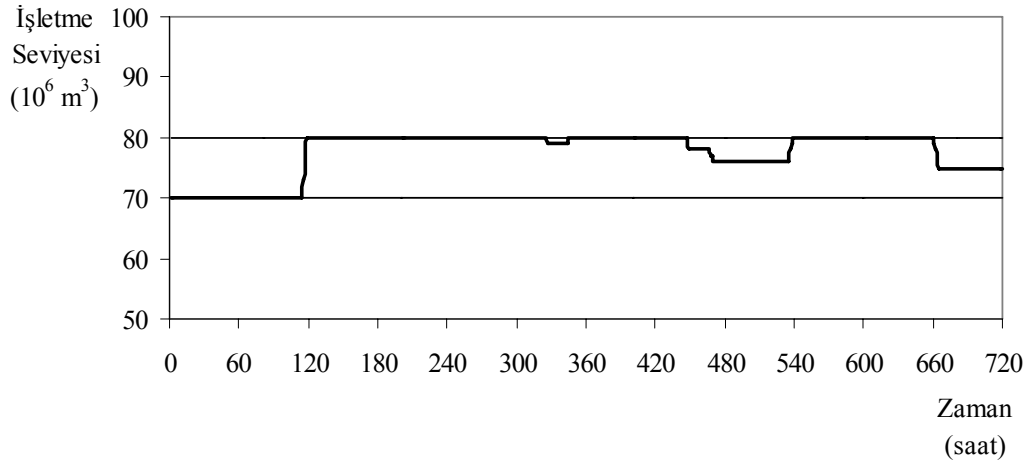
Şekil 5.31: Berke Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı



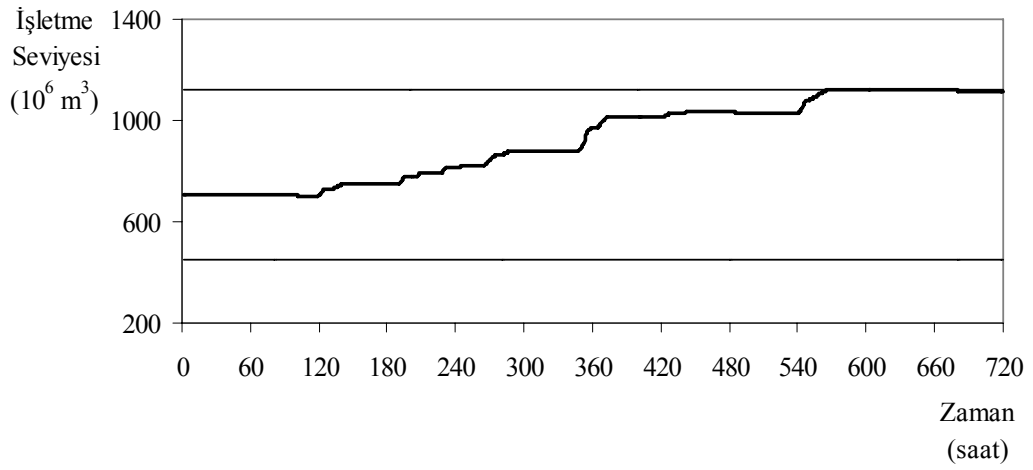
Şekil 5.32: Aslantaş Barajı'na taşkın durumunda havzasından gelen akım hidrografı



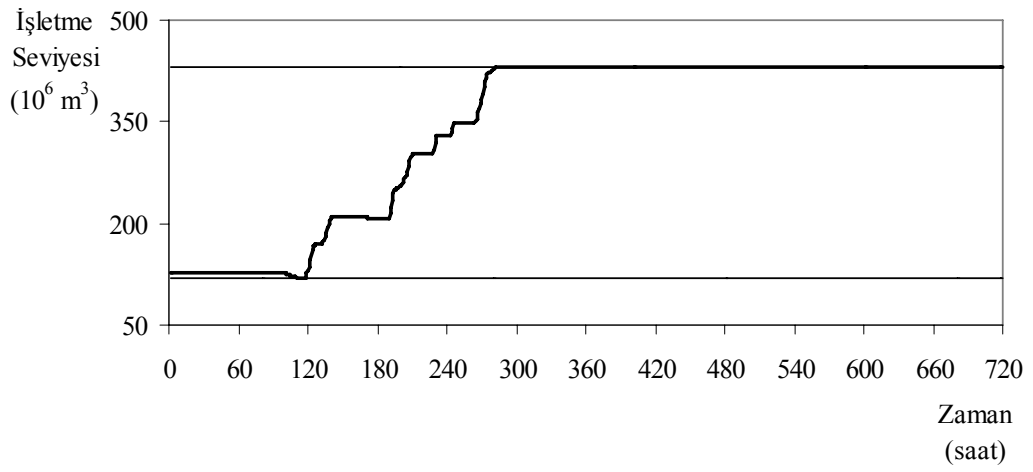
Şekil 5.33: Menzelet Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi



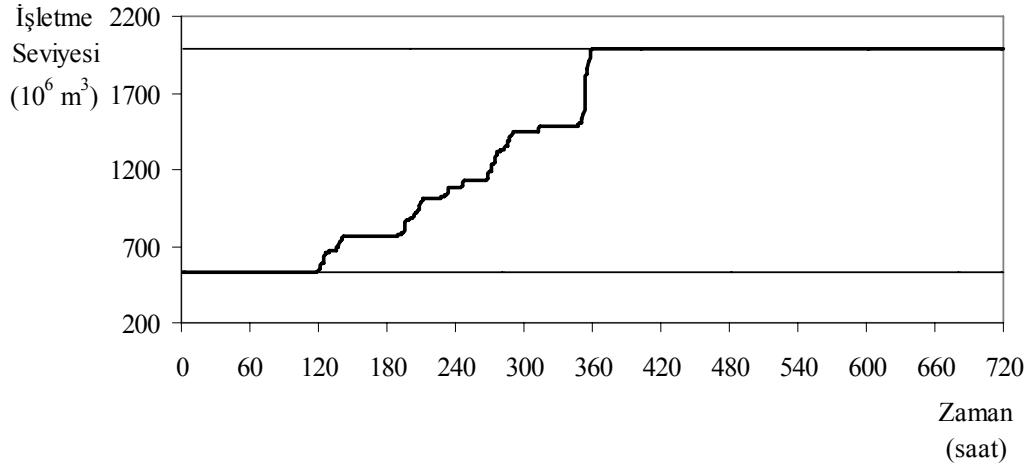
Şekil 5.34: Kılavuzlu Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.35: Sır Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi



Şekil 5.36: Berke Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi

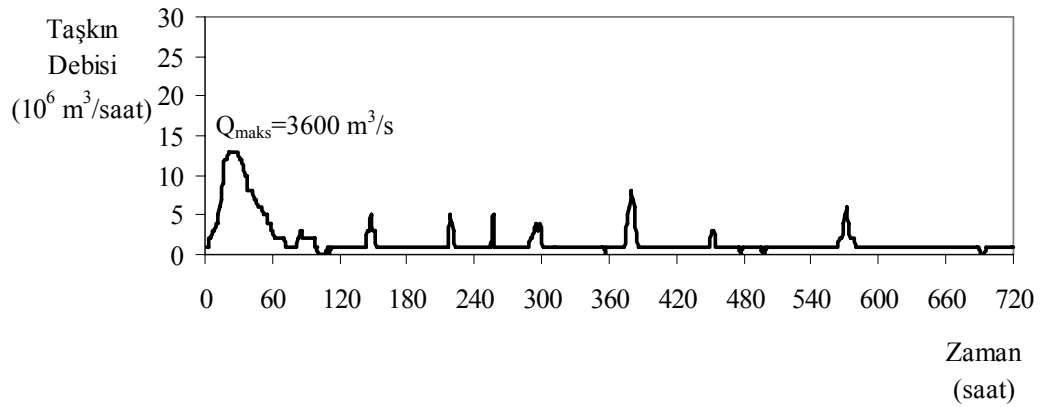


Şekil 5.37: Aslantaş Barajı'na ait taşkın kontrol seviyesi

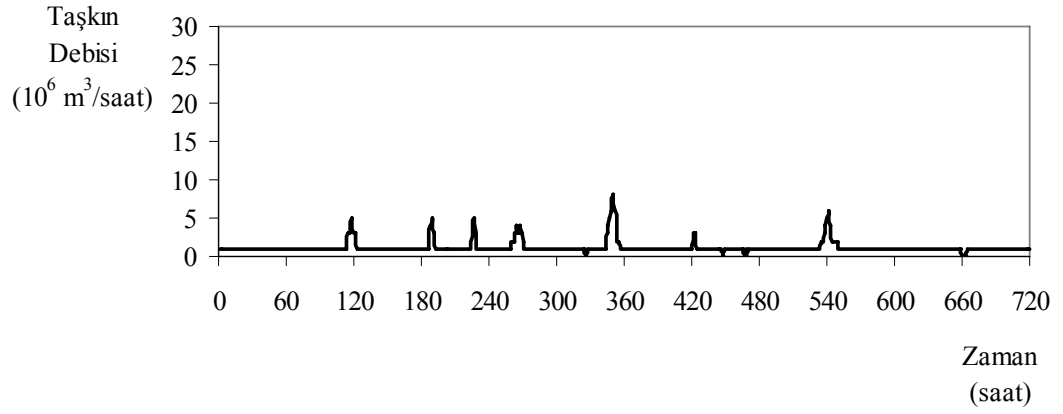
Tablo 5.21: Haziran ayına ait barajlardaki aylık normal, minimum işletme ve optimal taşkın kontrol seviyeleri (720 saatlik, t=12. ay)

Barajlar	Menzelet	Kılavuzlu	Sır	Berke	Aslantaş
$S_{i,t}^{Nor}$ ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	1950	80	1120	430	1990
$S_{i,t}^{Min}$ ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	1950	80	1120	430	1990
$S_{i,t}^{Taş}$ ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	752	70	705	120	530

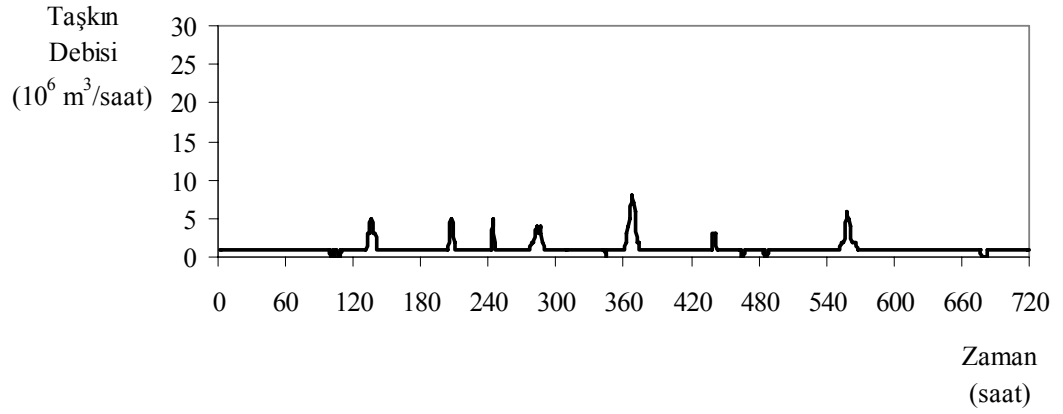
Gerçek zamanlı optimal işletmede, barajlara havzasından gelmesi beklenen akımlar Şekil 5.38, 39, 40, 41 ve 42 şeklinde verilmektedir.



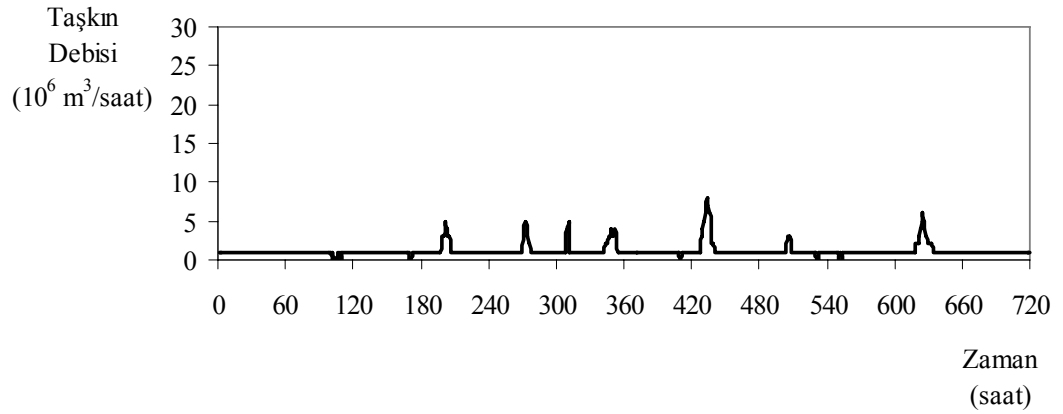
Şekil 5.38: Menzelet Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi



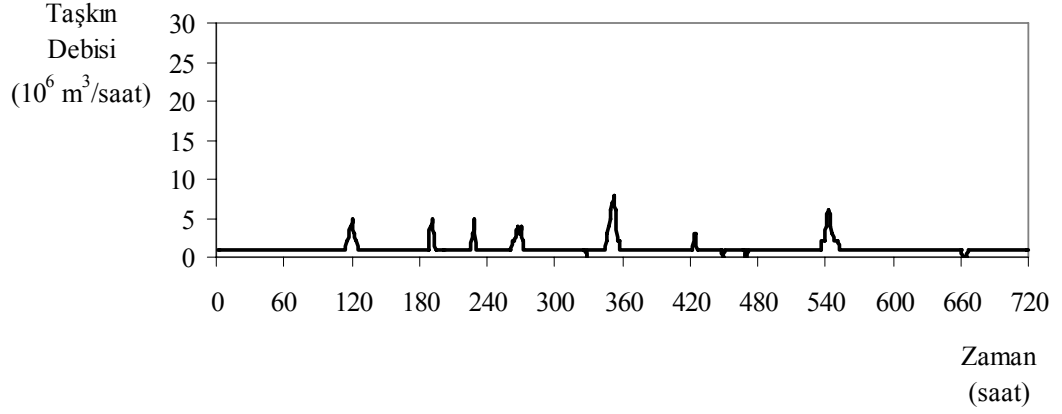
Şekil 5.39: Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi



Şekil 5.40: Sır Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi



Şekil 5.41: Berke Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografi



Şekil 5.42: Aslantaş Barajı'na havzasından gelmesi beklenen akım hidrografı

#### 5.4.2. Modelden çıkan veriler

Gerçek zamanlı optimal işletme modeline göre,

Şekil 5.43' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.44' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.45' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.46' da, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.47' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na ait işletme seviyesi,

Şekil 5.48' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı

Şekil 5.49' da, gerçek zamanlı işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı

Şekil 5.50' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı

Şekil 5.51' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.52' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.53' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.54' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.55' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.56' da, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na ait güç değerleri

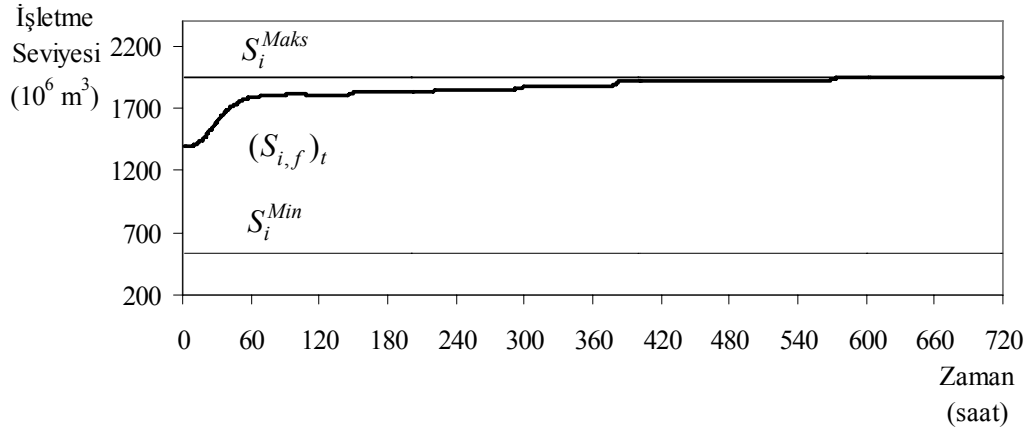
Şekil 5.57' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.58' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, toplam saatlik güç değerleri

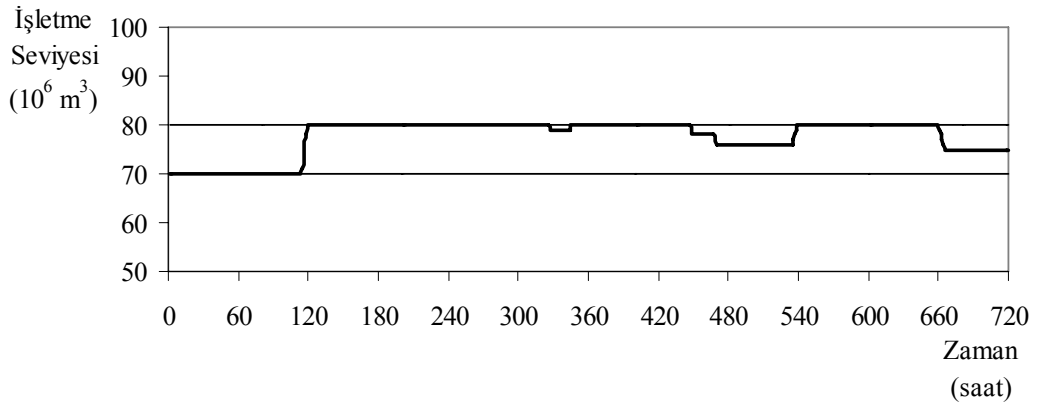
elde edilmiştir. Gerçek zamanlı optimal işletme sonucunda, havzadan gelmesi beklenen akımları karşılamak için işletme seviyeleri, barajlarda aylık normal işletme seviyesi ile optimal taşkın kontrol seviyesi arasında kalacak şekilde elde edilmiştir, (Şekil 5.43, 44, 45, 46 ve 47).

Barajlardan bırakılan akımlar akarsu yatağında kinematik dalga modeli ile ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akımlar üzerine ilave edilmektedir. Bu ilavelerin barajların havzasından gelen akımların değerini hiç etkilemediği, Şekil 5.48, 49, 50, 51 ve 52' de, görülmüştür.

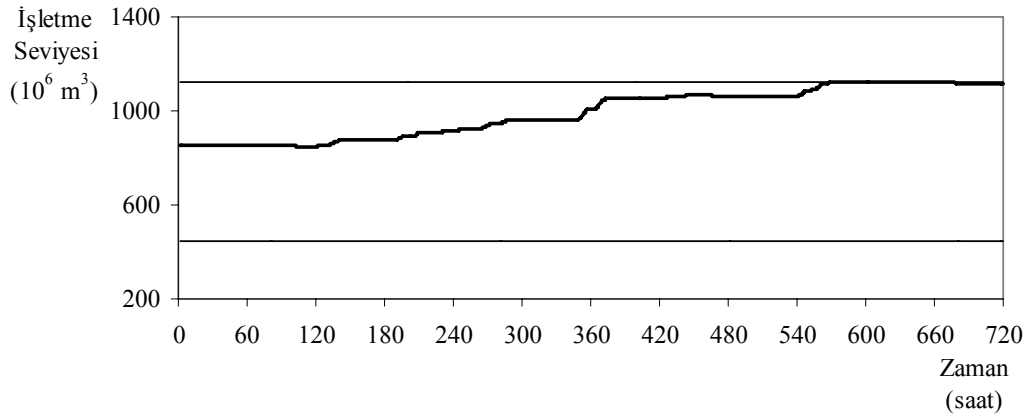
Barajdan bırakılan akımlar ve işletme seviyeleri kullanılarak, barajların enerji üretim değerleri elde edilmiştir, (Şekil 5.53, 54, 55, 56, 57 ve 58). Bu elde edilen enerji üretim değerleri, daha sonra benzetim modeli ile yapılan işletme sonucunda elde edilecek enerji üretim değerleri ile karşılaştırılacaktır.



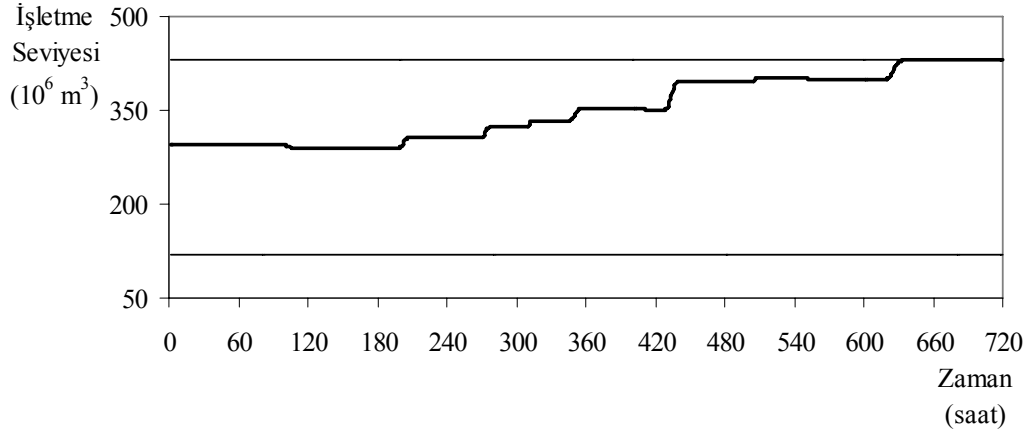
Şekil 5.43: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyesi



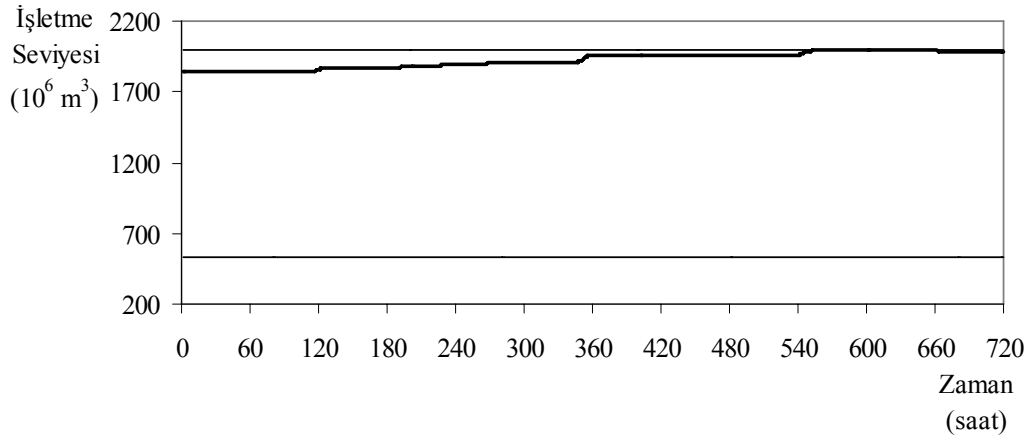
Şekil 5.44: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na ait işletme seviyesi



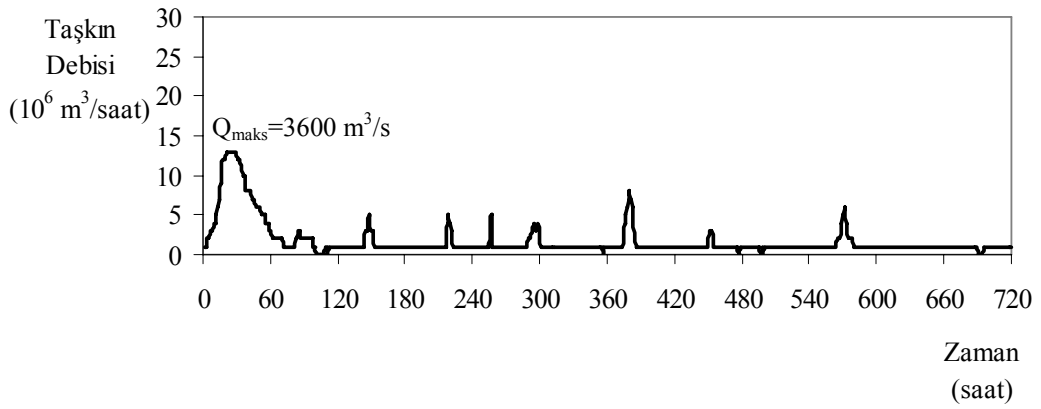
Şekil 5.45: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na ait işletme seviyesi



Şekil 5.46: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na ait işletme seviyesi

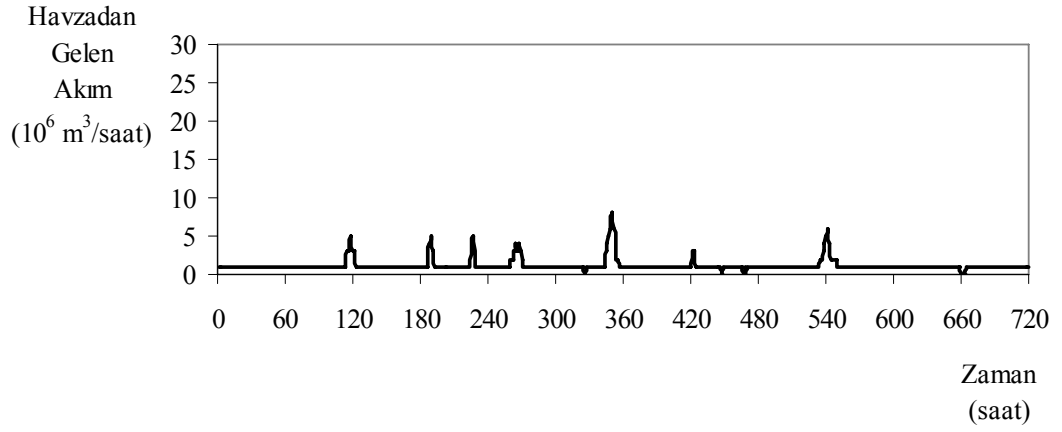


Şekil 5.47: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na ait işletme seviyesi

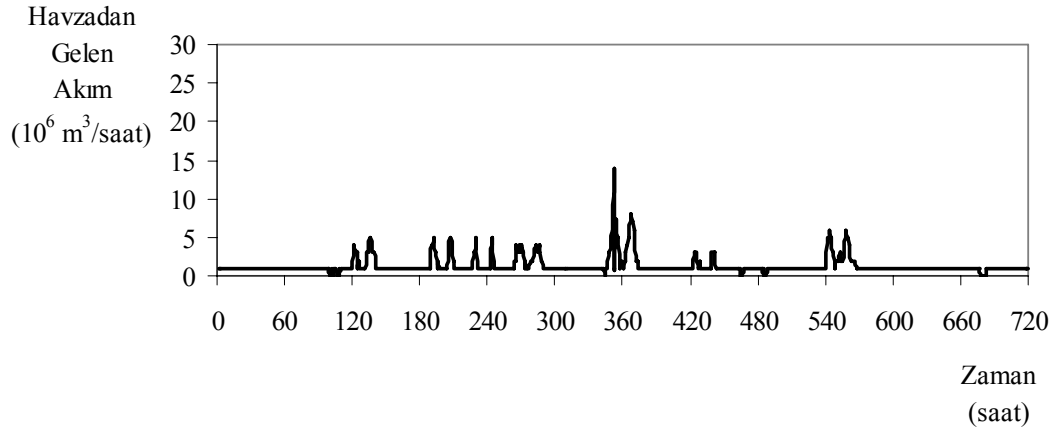


Şekil 5.48: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

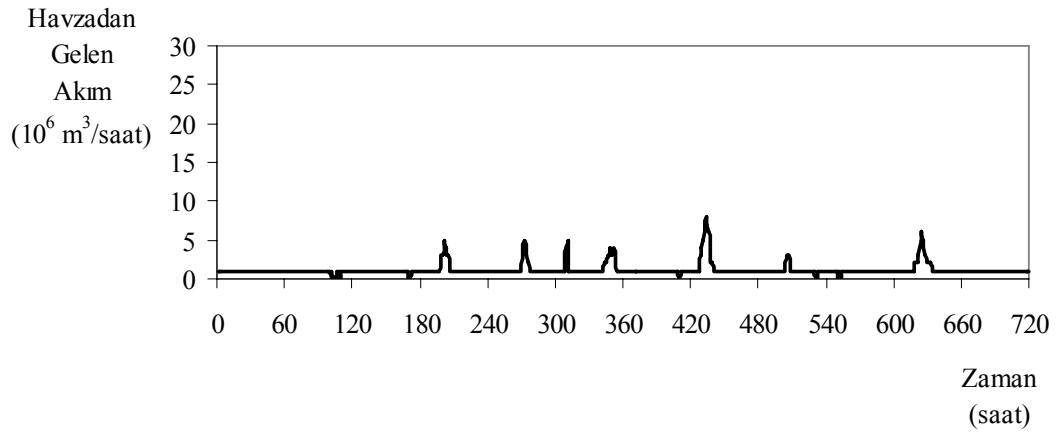




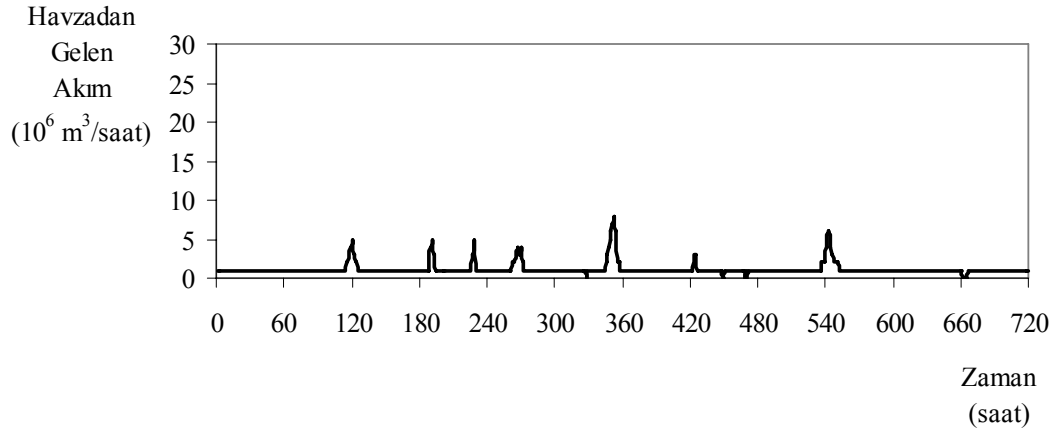
Şekil 5.49: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



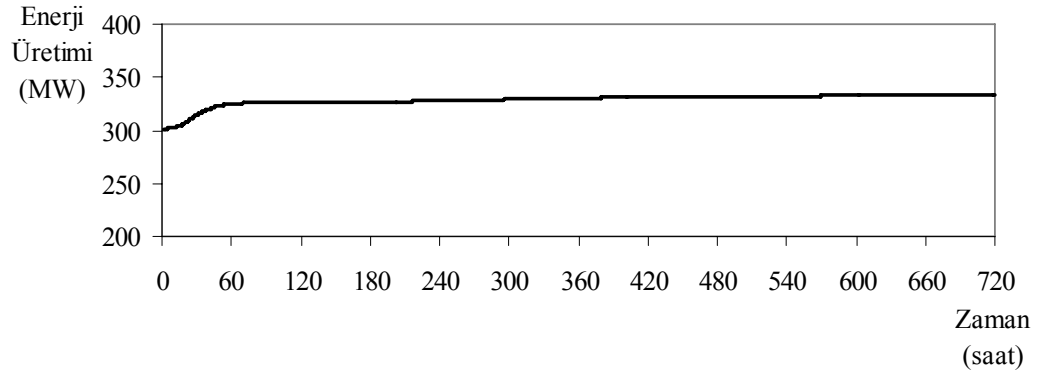
Şekil 5.50: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



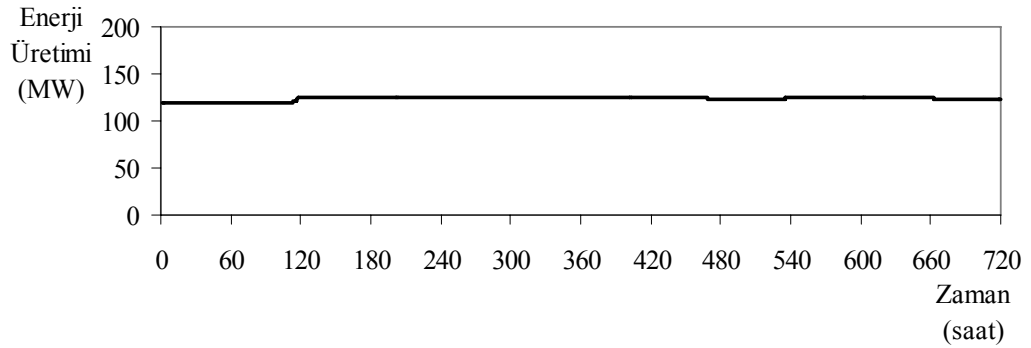
Şekil 5.51: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



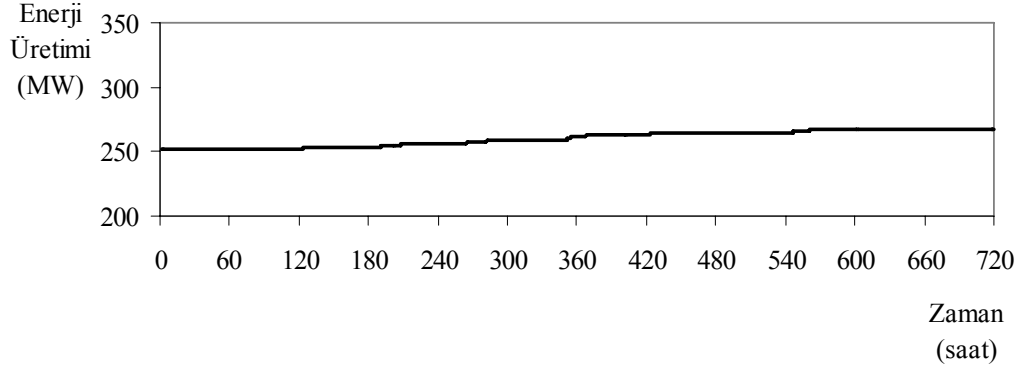
Şekil 5.52: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi



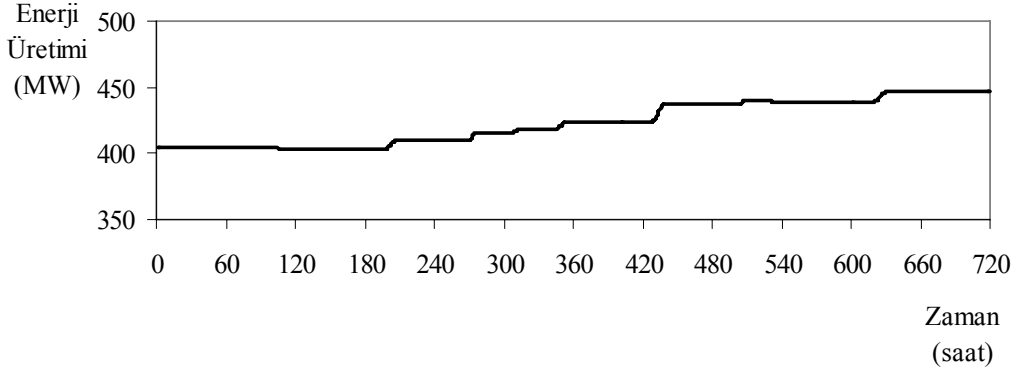
Şekil 5.53: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na ait güç değerleri



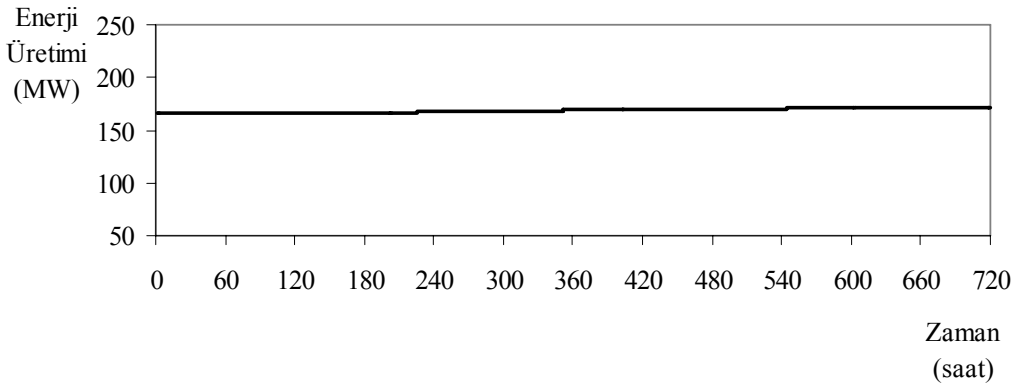
Şekil 5.54: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na ait güç değerleri



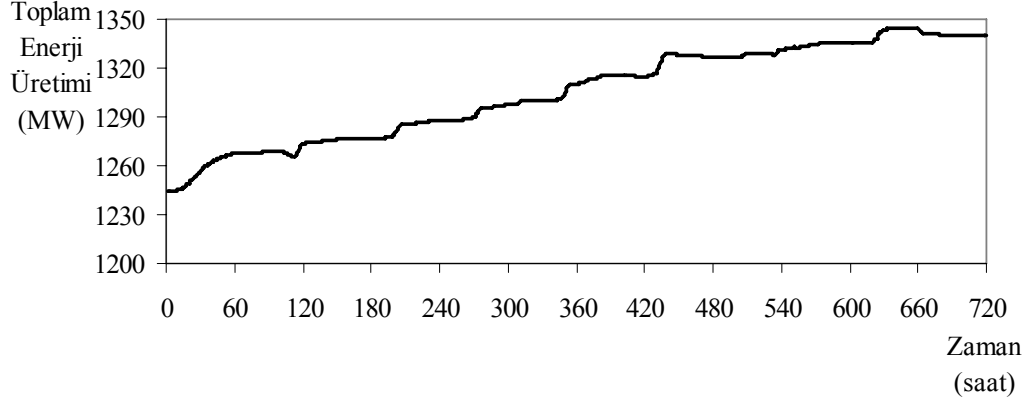
Şekil 5.55: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na ait güç değerleri



Şekil 5.56: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na ait güç değerleri



Şekil 5.57: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na ait güç değerleri



Şekil 5.58: Gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, toplam saatlik güç değerleri

## 5.5. Benzetim Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

### 5.5.1. Modele giren veriler

Benzetim modelinde, modele girilen veriler:

Baraj sayısı ve dönem sayısı

Tablo 5.17' de, barajlardan enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılacak maksimum toplam akım miktarları

Tablo 5.18' de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Tablo 5.21' de, Haziran ayına ait barajlardaki aylık normal, minimum işletme ve optimal taşkın kontrol seviyeleri,

Şekil 5.48' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Menzelet Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.49' da, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.50' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Sır Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.51' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Berke Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.52' de, gerçek zamanlı optimal işletme neticesinde, Aslantaş Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.59: Menzelet Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi,

Şekil 5.60: Kılavuzlu Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi,

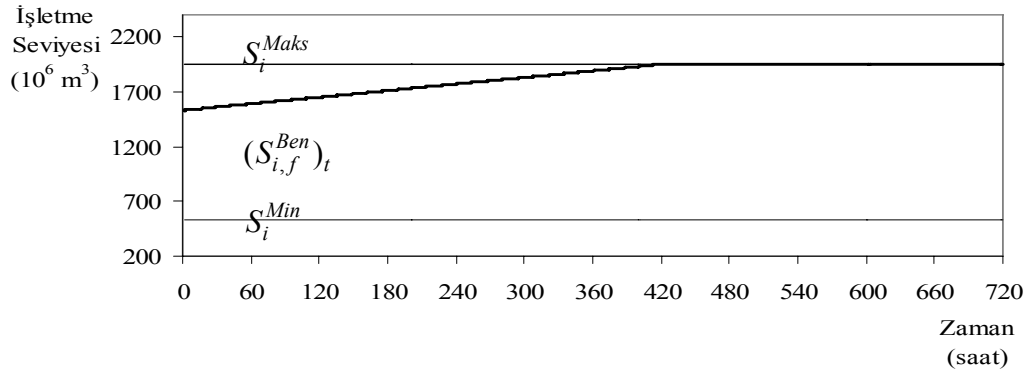
Şekil 5.61: Sır Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi,

Şekil 5.62: Berke Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi,

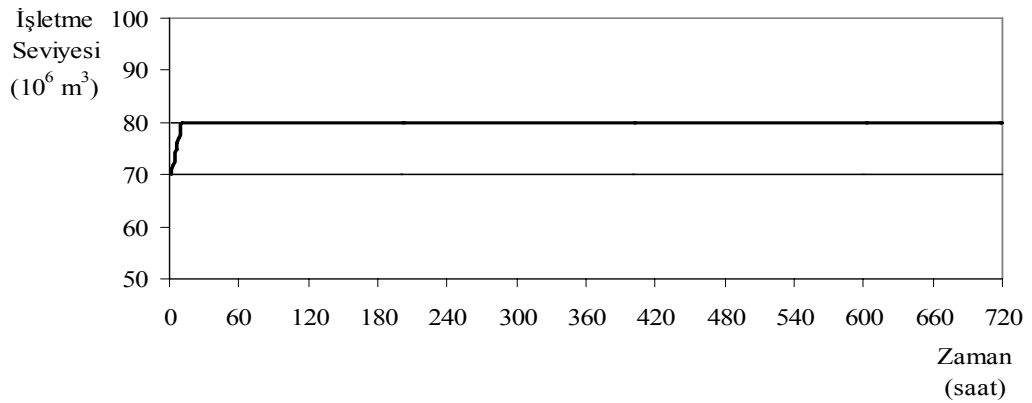
Şekil 5.63: Aslantaş Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi,

şeklinde verilmektedir.

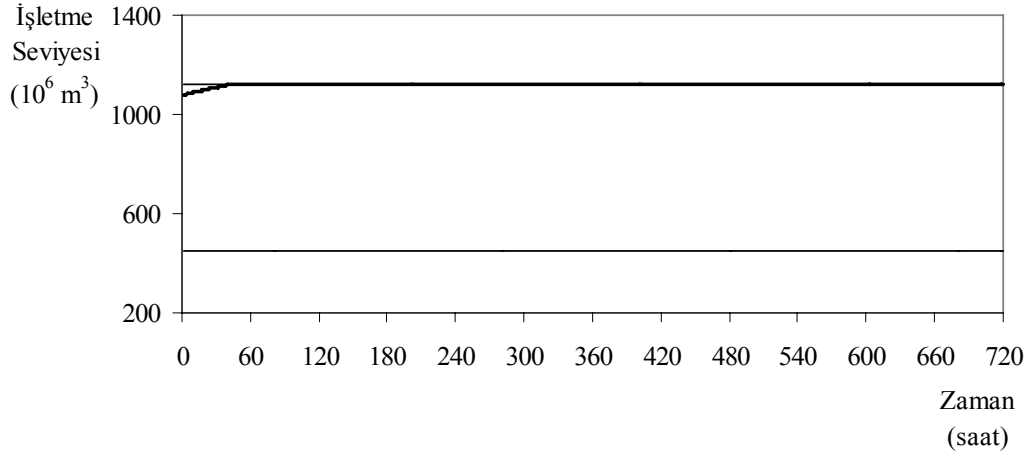
Benzetim modeline göre yapılan işletmede, barajlardaki benzetim işletme seviyeleri, uzun süreli işletmede aylık ortalama akım kullanılarak elde edilen aylık normal işletme seviyeleri ile aylık ortalama akım üzerinde gelebilecek akıma bağlı olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu benzetim işletme seviyeleri, Şekil 5.59, 60, 61, 62 ve 63' de gösterilmektedir.



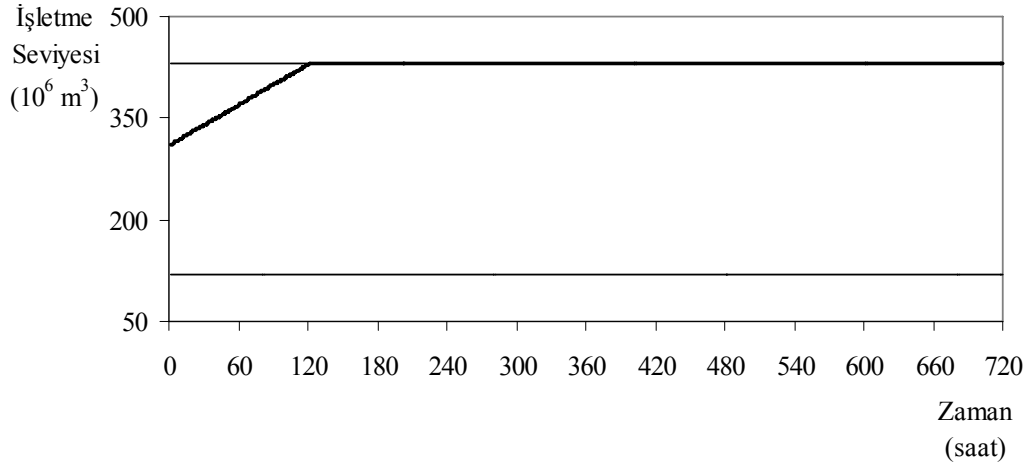
Şekil 5.59: Menzelet Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi



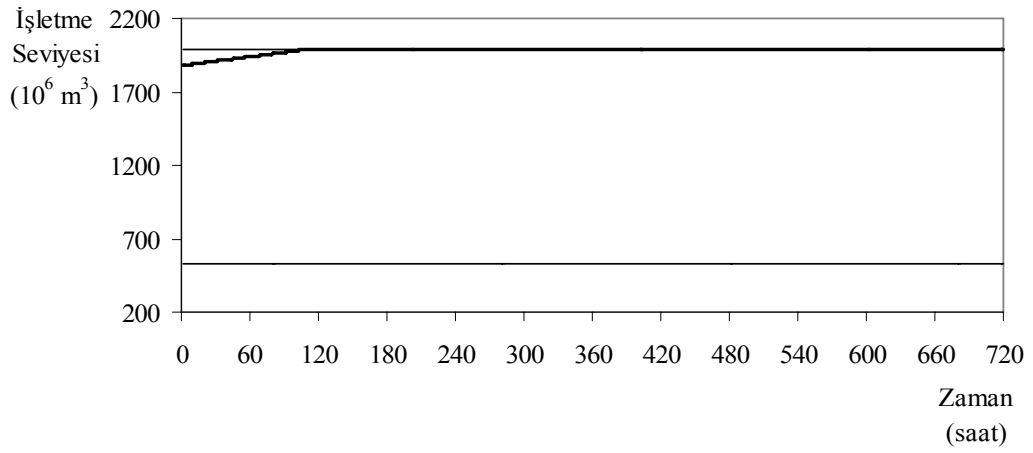
Şekil 5.60: Kılavuzlu Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi



Şekil 5.61: Sır Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi



Şekil 5.62: Berke Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi



Şekil 5.63: Aslantaş Barajı'na ait benzetim işletme seviyesi

### 5.5.2. Modelden çıkan veriler

Benzetim modeline göre işletme neticesinde,

Şekil 5.64' de, benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.65' de, benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.66' de, benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.67' de, benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na ait işletme seviyesi

Şekil 5.68' de, benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na ait işletme seviyesi,

Şekil 5.69' da, benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.70' de, benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.71' de, benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.72' de, benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.73' de, benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na havzasından gelen akım hidrografi

Şekil 5.74' de, benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.75' de, benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.76' da, benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.77' de, benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na ait güç değerleri

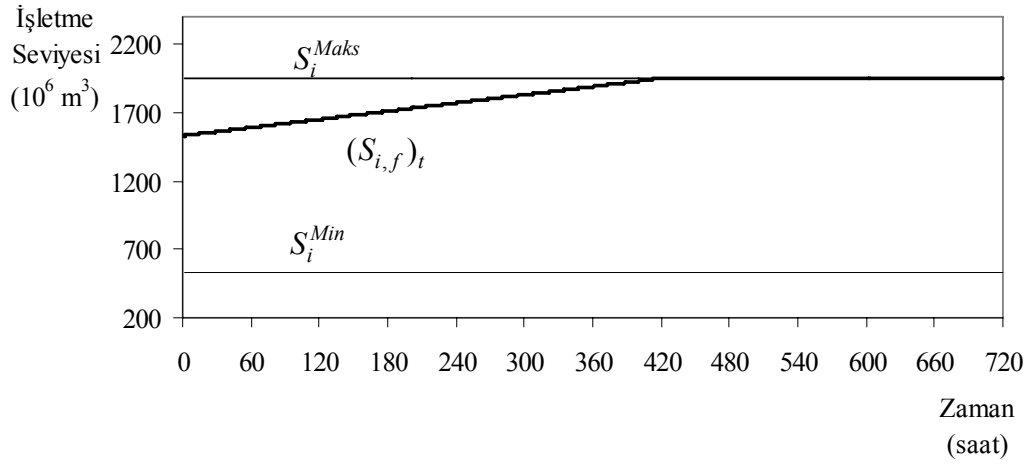
Şekil 5.78' de, Benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na ait güç değerleri

Şekil 5.79' da, benzetim modeline göre işletmede, toplam saatlik güç değerleri

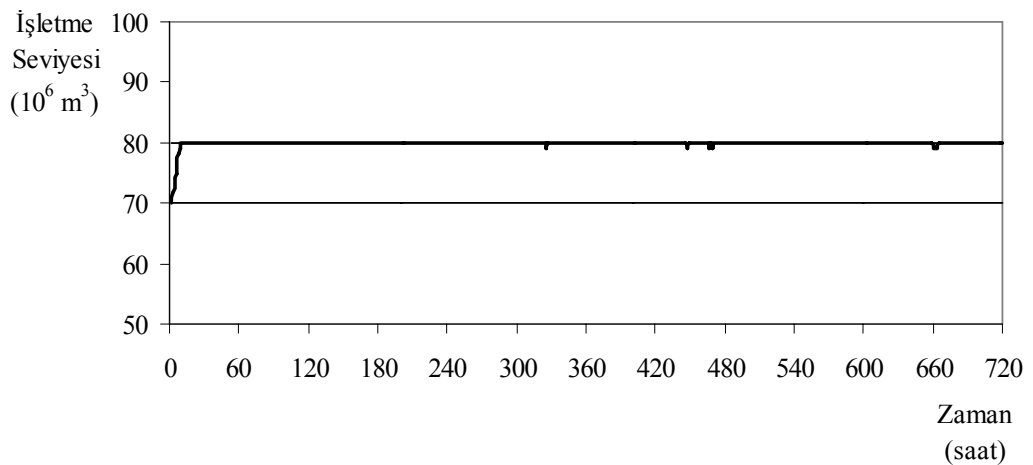
elde edilmiştir.

Benzetim modeline göre yapılan işletme sonucunda işletme seviyeleri, aylık normal işletme seviyeleri ve optimal taşkın kontrol seviyeleri arasında elde edilmiştir.

Barajlardan bırakılan akımlar, akarsu yatağında kinematik dalga modeli ile ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akımlar üzerine ilave edilmektedir. Bu ilavelerin barajların havzasından gelen akımların değerini önemli bir şekilde etkilediği, Şekil 5.69, 70, 71, 72 ve 73' de, görülmüştür.

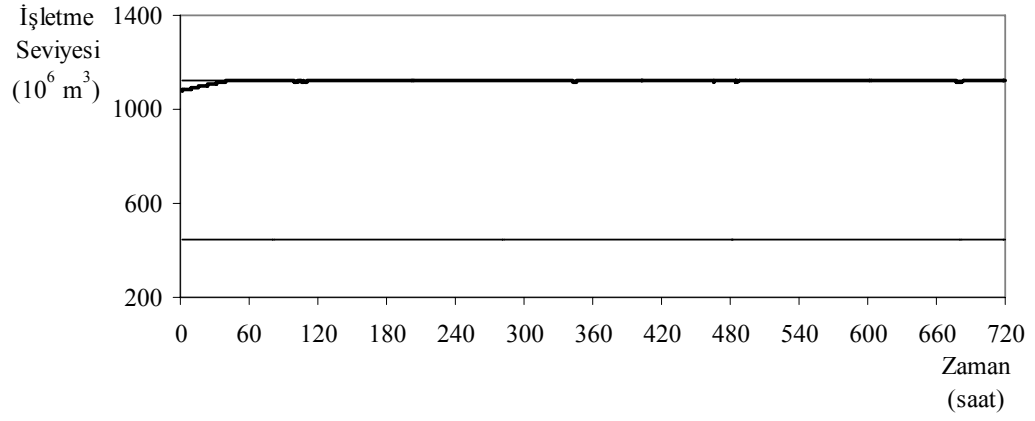


Şekil 5.64: Benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyesi

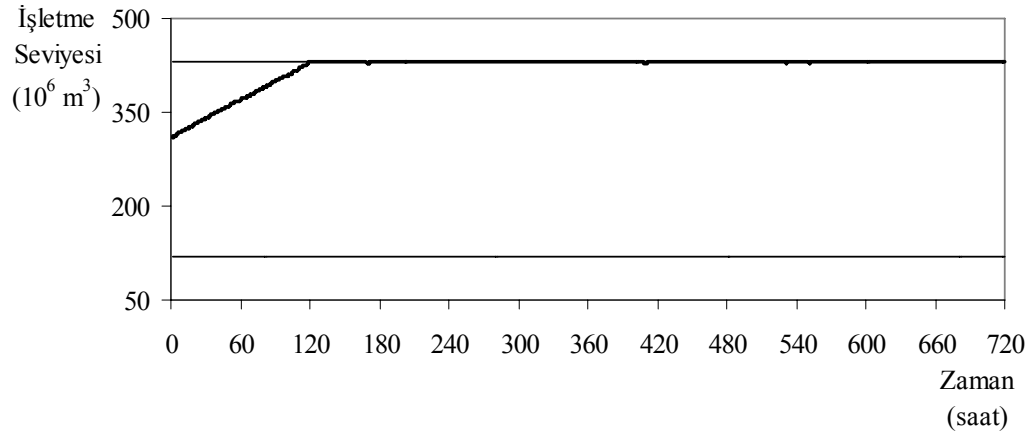


Şekil 5.65: Benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na ait işletme seviyesi

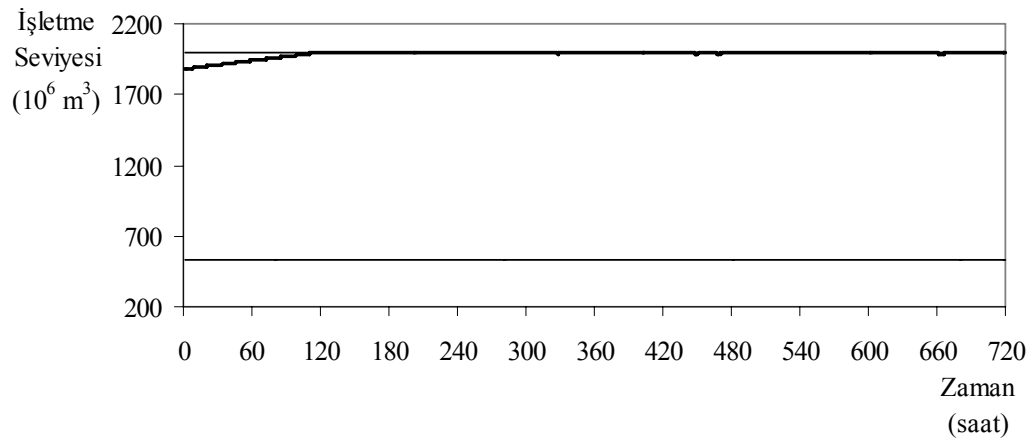




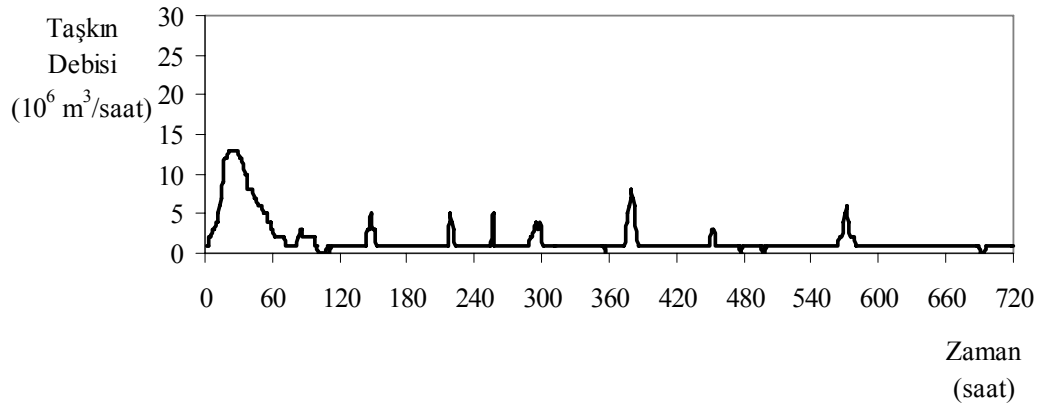
Şekil 5.66: Benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na ait işletme seviyesi



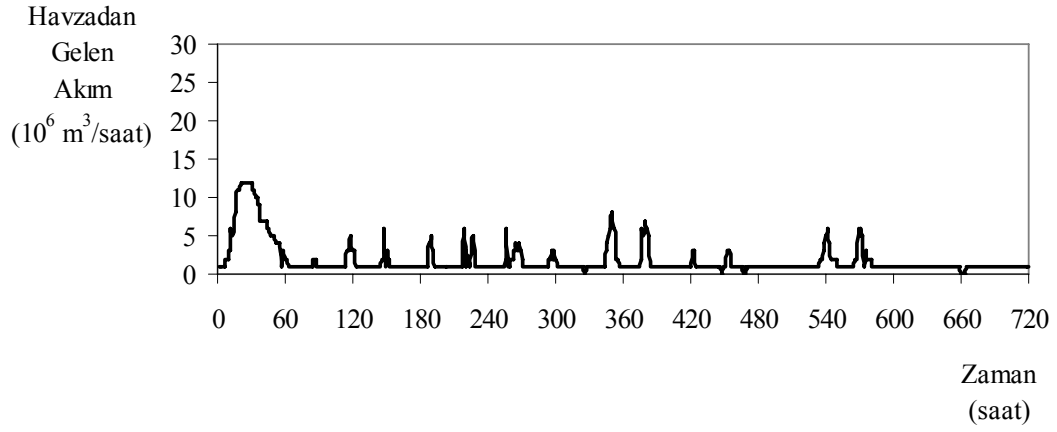
Şekil 5.67: Benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na ait işletme seviyesi



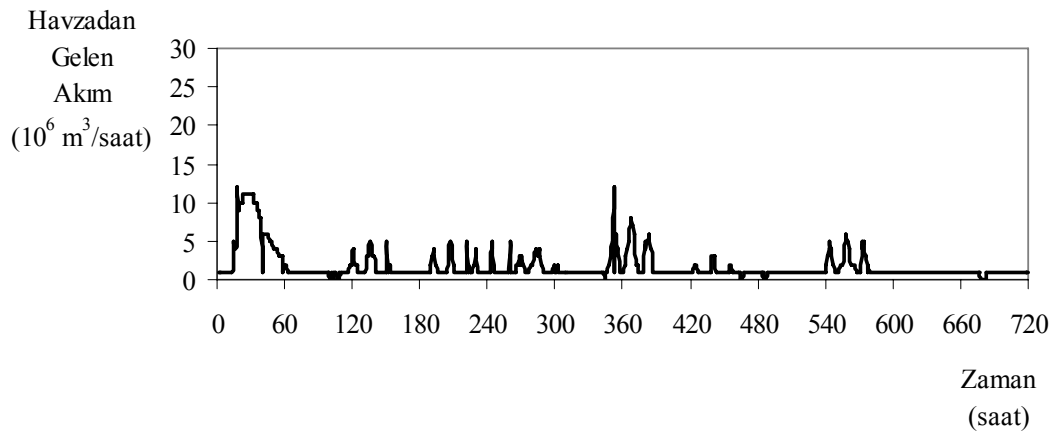
Şekil 5.68: Benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na ait işletme seviyesi



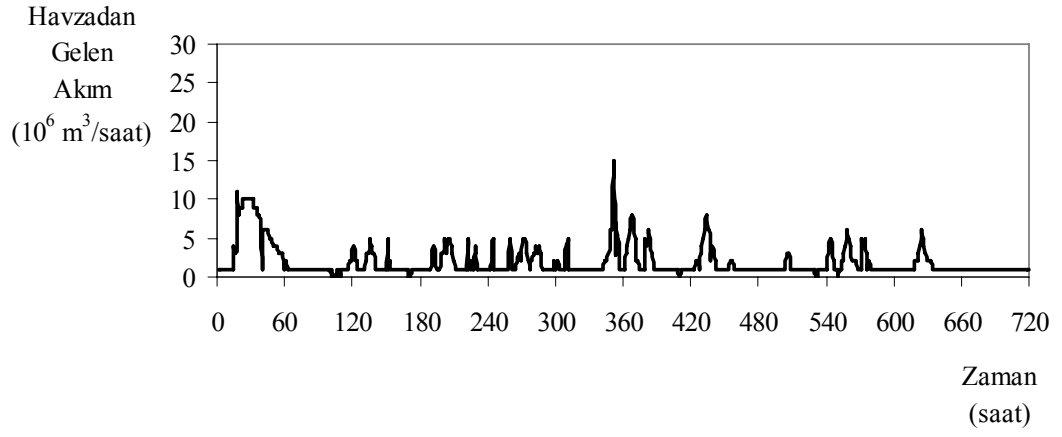
Şekil 5.69: Benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



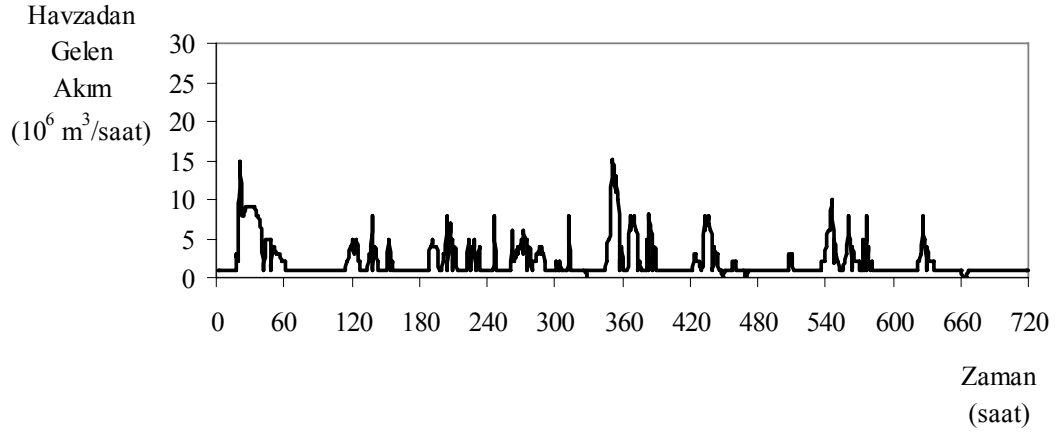
Şekil 5.70: Benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



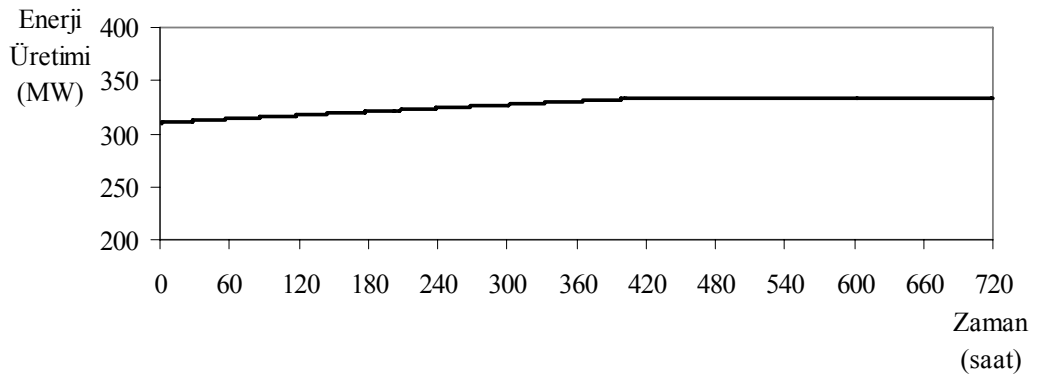
Şekil 5.71: Benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



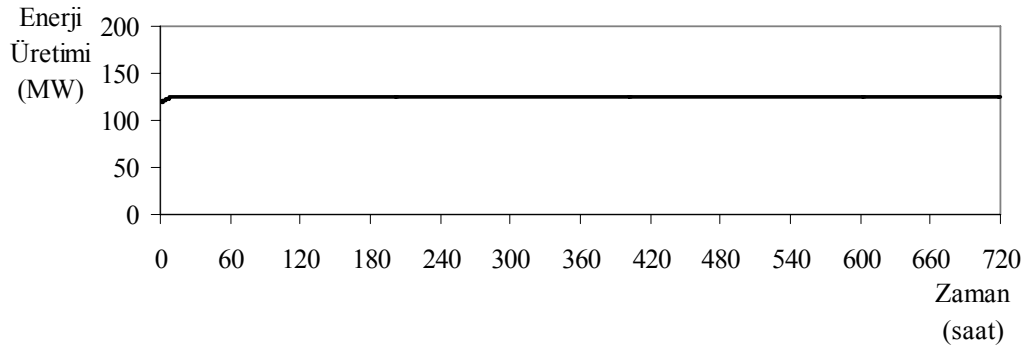
Şekil 5.72: Benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



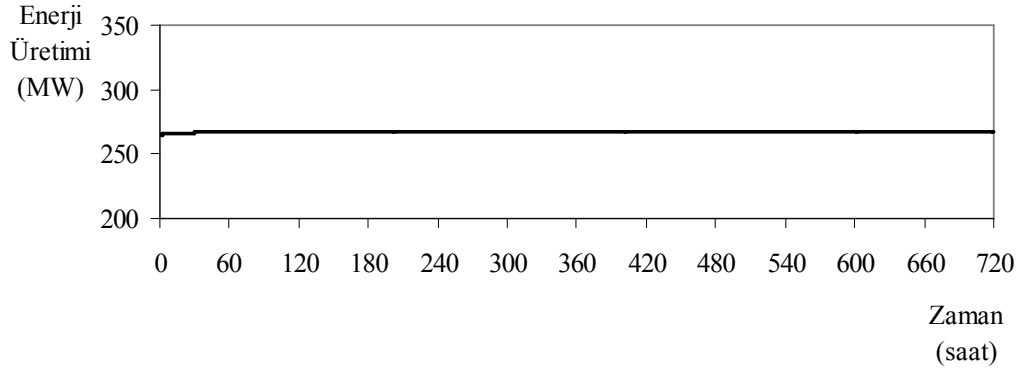
Şekil 5.73: Benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na havzasından gelen akım hidrografı



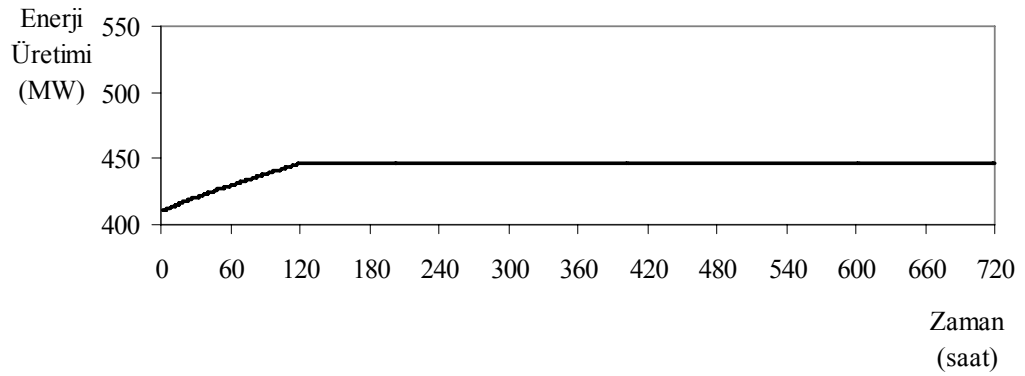
Şekil 5.74: Benzetim modeline göre işletmede, Menzelet Barajı'na ait güç değerleri



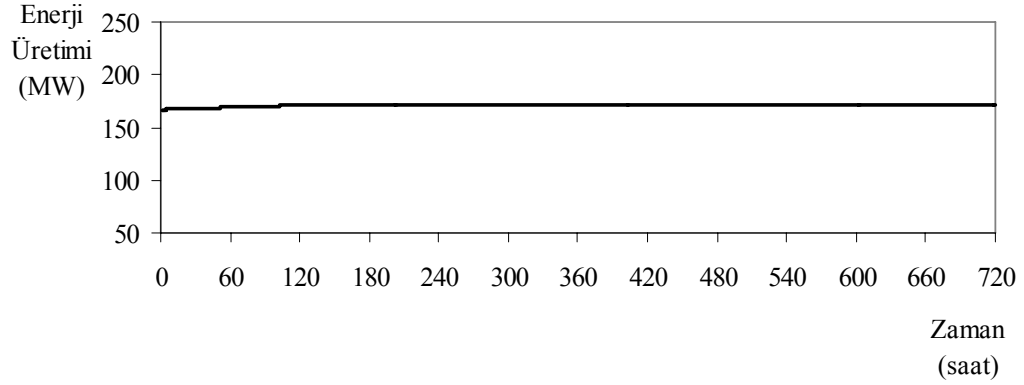
Şekil 5.75: Benzetim modeline göre işletmede, Kılavuzlu Barajı'na ait güç değerleri



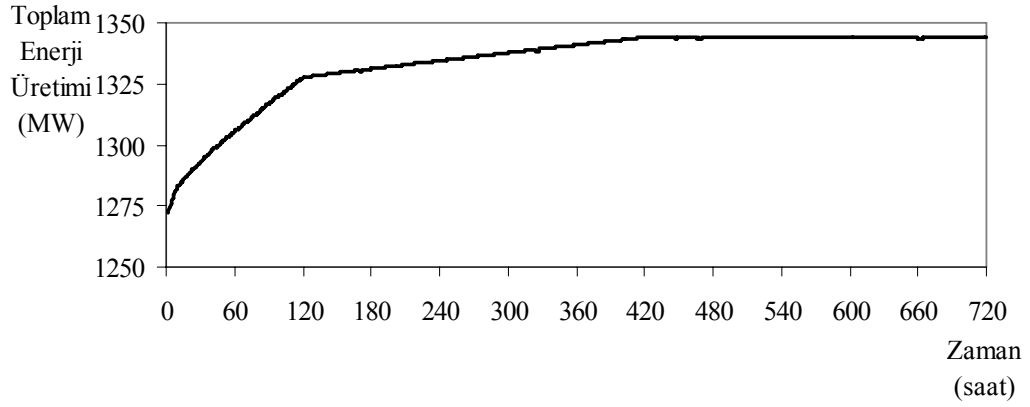
Şekil 5.76: Benzetim modeline göre işletmede, Sır Barajı'na ait güç değerleri



Şekil 5.77: Benzetim modeline göre işletmede, Berke Barajı'na ait güç değerleri



Şekil 5.78: Benzetim modeline göre işletmede, Aslantaş Barajı'na ait güç değerleri



Şekil 5.79: Benzetim modeline göre işletmede, toplam saatlik güç değerleri

Benzetim modeline göre yapılan işletme sonucunda, barajlardan aylık olarak bırakılan akım değeri ile gerçek zamanlı optimal işletme modeline göre elde edilen akım değeri karşılaştırılmıştır. Buradan, benzetim modeline göre elde edilen aylık bırakım değeri, gerçek zamanlı optimal işletme modeline göre elde edilen aylık bırakım değerinden % 40,3 daha fazladır.

Barajdan bırakılan akımlar ve işletme seviyeleri kullanılarak, barajların enerji üretim değerleri elde edilmiştir, (Şekil 5.74, 75, 76, 77, 78 ve 79). Bu elde edilen enerji üretim değerleri, gerçek zamanlı optimal işletme modeli ile yapılan işletme sonucunda elde edilen enerji üretim değerleri ile karşılaştırılacaktır. Karşılaştırma neticesinde, toplam enerji üretimi % 2,43 kadar daha iyidir.

## 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,

- Aylık akımların kullanıldığı uzun süreli işletme modeli,
- Tasarım amaçlı taşkın hidrografların kullanıldığı kısa süreli işletme modeli
- Uzun ve kısa süreli optimal politikaların bütünleştirildiği, gerçek zamanlı optimal işletme modeli
- Gerçek zamanlı optimal işletme modelinden elde edilen sonuçların değerlendirildiği benzetim modeli
- Barajlardan saatlik olarak bırakılan akımların diğer baraja akarsu yatağında ötelenerek taşındığı kinematik dalga modeli

kurulmuştur. Kurulan modellere göre elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir:

1. Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda, aylık akımlar kullanılarak güvenilir gücün ve toplam enerjinin enbüyüklenmesinde elde edilen optimal işletme seviyelerine bakıldığında, Menzelet Barajı'na ait işletme seviyesi, işletmeyi yöneten ve yönlendiren bir durumdadır.

2. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, buharlaşma miktarlarının gözetildiği kritik dönemin aylık akımları ile güvenilir güç enbüyüklenmekte ve güvenilir güç  $P_c=163,970$  MW olarak elde edilmektedir. Bu elde edilen güvenilir güç, DSİ Genel Müdürlüğü'nün kullandığı yaklaşıma göre elde edilen güvenilir güçten % 13 daha büyüktür.

3. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, kurak dönemde elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta, buharlaşma miktarlarının gözetildiği ortalama akımlar ile toplam enerji enbüyüklenmekte ve ortalama güç  $P_{ot} = 438.340$  MW olarak elde edilmektedir. Bu elde edilen güvenilir güç, DSİ Genel Müdürlüğü' nün kullandığı yaklaşıma göre elde edilen güvenilir güçten % 153 daha büyüktür.

4. Kısa süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda, taşkın durumu için seçilen tasarım amaçlı taşkın hidrografi Menzelet Barajı'na ait olduğu için, bu taşkın kontrol eden ve yöneten Menzelet Barajı olmuştur.

5. Saatlik olarak yapılan işletme çalışmalarında barajlardan akarsu yatağına bırakılan akımın diğer baraja ulaşma değerini ve ulaşma zamanını belirlemek için kinematik dalga modeli kullanılmıştır. Buna göre,

- Barajlar arası mesafe ne kadar artarsa barajdan bırakılan akım değeri, diğer baraja o kadar azalarak ulaştığı,
- Barajlar arası mesafe çok küçük ise, barajdan bırakılan akım, diğer baraja değişmeden ulaştığı,
- Barajdan bırakılan akım değeri büyüdüğü zaman ulaşma zamanının küçüldüğü,
- Barajlar arası mesafe artıkça ulaşma zamanı artmakta, azaldıkça azalmakta olduğu

görülmektedir.

6. Gerçek zamanlı optimal işletme modeli ile yapılan işletme sonucunda, havzadan gelmesi beklenen akımları karşılamak için işletme seviyeleri, barajlarda aylık normal işletme seviyesi ile optimal taşkın kontrol seviyesi arasında kalacak şekilde elde edilmiştir. Barajlardan bırakılan akımlar, akarsu yatağında ötelenerek diğer barajın havzasından gelen akım üzerine ilave edilmiştir. Bu ilavelerin barajların havzasından gelen akımların değerini hiç etkilemediği görülmüştür.

7. Benzetim modeline göre yapılan işletmede, işletme seviyeleri, aylık normal işletme seviyeleri ile optimal taşkın kontrol seviyeleri arasında kalmaktadır. Barajlardan bırakılan akımlar, akarsu yatağında ötelenerek diğer barajın havzasından gelen akım üzerine ilave edilmiştir. Bu ilavelerin barajların havzasından gelen akımların değerini önemli bir şekilde etkilediği görülmüştür.

8. Benzetim modeline göre yapılan işletme neticesinde, barajlardan aylık olarak bırakılan akım değeri, gerçek zamanlı optimal işletme modeline göre elde edilen değerden % 40,3 daha fazladır.

9. Gerçek zamanlı optimal işletme modeli ile yapılan işletme sonucunda elde edilen toplam aylık enerji üretimi, benzetim modeli ile elde edilen değere % 2,43 kadar daha yakındır.

Gerçek zamanlı optimal işletme modelinden elde edilen sonuçlar, benzetim modeli ile hem enerji üretimi (% 2,43 kadar yakın) hem de barajlardan aylık olarak bırakılan toplam akım değeri (% 40,3 kadar daha iyi) bakımından karşılaştırılmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda, “taşkın zararı parasal olarak ifade edilebildiği takdirde”, elde edilecek net fayda (enerji üretimi+taşkından korunma) bakımından gerçek zamanlı optimal işletme modeli, benzetim modelinden daha iyi sonuçlar üretecektir. Bu durumda, gerçek zamanlı optimal işletme modelinin kullanılması önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

1. Açanal N., “Ceyhan Havzası’nda mevcut baraj sisteminin katastrofal ve 10.000 yıllık taşkınlara karşı davranışı üzerine bir araştırma”, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (104 S.), (1993).
2. Akbulut U., “Çok amaçlı baraj işletme çalışmaları ve Ceyhan Havzası’nın Hec-5 simülasyon programı ile modellenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (136 S.), (2003).
3. Archibald T., McKinnon, S. and Thomas I., “An aggregate stochastic dynamic programming model of multi-reservoir systems”, *Water Resources Research*, 33(2), 333-340, (1997).
4. Bellman R., “Dynamic Programming”, *Princeton University Pres*, Princeton, N.J., (1957).
5. Bellman R., and Dreyfus S., “Applied Dynamic Programming”, *Princeton University Pres*, Princeton, N.J., (1962).
6. Bertsekas D., “Dynamic programming: Deterministic and stochastic models”, *Prentice-Hall*, Englewood Cliffs, N.J., (1987).
7. Beyazıt M., Duranyıldız İ., “Çoklu baraj işletmesinde sistem analizi”, *Hidroelektrik Enerji Sempozyumu Tebliğleri*, EİEİ, S.204-222, (1985).
8. Beyazıt M., Duranyıldız İ., “An iteratif method to optimize the operation of reservoir systems”, *Water Resources Management*, No.1, S.255-266, (1987).
9. Beyazıt M., Duranyıldız İ., “Hazne sistemlerinin işletilmesinin optimizasyonu”, *İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı Sempozyumu, İTÜ, İnşaat Fakültesi*, İstanbul, (1988a).
10. Beyazıt M., Duranyıldız İ., “Optimal operation of reservoir systems in critical periods”, *Water Resources Management*, C.2, No.2, S.141-148, (1988b).
11. Braga, B., Yeh W., and Barros, M., “Stochastic optimization of multiple-reservoir-system operation”, *Water Resources Planning and Management*, 117(4),471-481., (1991).
12. Brakensiek D. L., “A simulated watershed flow system for hydrograph prediction: a kinematic application”, *Proceedings, International Hydrology Symposium*, Fort Collins, Colo., vol.1, pp.3.1-3.7, (1967).

13. 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).
14. DeVries J. J. and MacArthur R. C., "Introduction and application of kinematic wave routing techniques using HEC-1", training document no. 10, *Hydrologic Engineering Center, U. S. Army Corps of Engineers*, Davis, California, (1979).
15. Eagleson P. S., "Dynamic Hydrology", *McGraw-Hill*, New York, (1970).
16. El-Awar, F., Labadie. J., and Ouarda. T., "Stochastic differential dynamic programming for multi-reservoir system control." *J. Stochastic Hydrology Hydraulics*, 12,247-266, (1998).
17. Georgakakos, A., "Extended linear quadratic gaussian control: Further extensions" *Water Resources Research*, 25(2),191-201, (1989a).
18. Georgakakos, A., "The value of streamflow forecasting in reservoir operations", *Water Resources Bulletin*, 25(4), 789-800, (1989b).
19. Georgakakos, A. And Marks. D., "A new method for the real time operation of reservoir systems", *Water Resources Research*, 23(7),1376-1390, (1987).
20. 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).
21. Giles, J., and Wunderlich, W., "Weekly multipurpose planning model for TVA reservoir system", *J. Water Resources Planning and Management*, 107(2),495-511, (1981).
22. Güvel Ş., P., "Ceyhan ve Seyhan Havzaları'nın Hec-5 programı ile taşkın kontrolü ve enerji optimizasyonu amaçlı simülasyonu", *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (123 S.) , (1997).
23. 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).
24. Hayes. D., Labadie. J., Sanders. T., and Brown. J., "Enhancing water quality in hydropower system operations", *Water Resources Research*, 7(2), 471-483, (1998).
25. 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).

26. Hiedari, M., Chow, V., Kotovic, P., and Meredith, D., "Discrete differential dynamic programming approach to water resources system optimization", *Water Resources Research*, 7(2), 2733-282, (1971).
27. Howard, C., "Optimal integrated scheduling of reservoirs and generating units" *Leading Edge Technology: Hydro- Vision Conf., Phoenix, Ariz. Oper.*, (1994).
28. 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).
29. Jacobson, H., and Mayne, Q., "Differential dynamic programming", *Elsevier*, New York, (1970).
30. 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).
31. 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).
32. 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).
33. Labadie, J., "Optimal use of in-system storage for real-time urban stormwater control" Urban Strom water Drainage: Proc., U.S.-Italy Bilateral Seminar, Cao et al., eds., *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, Calif., (1993b).
34. Labadie, J., "Generalized dynamic programming package: CSUDP" *Documentation and user manual, Dept. Of Civil Engineering, Colorado State University*, Ft., Collins, Colo., (1999).
35. Labadie, J., Lazaro, R., and Morrow, D., "Worth of short-term reinfall foracasting for combined sewer overflow control", *Water Resources Research*, 17(6),1594-1604, (1981).
36. Larson, R "State increment dynamic programming", *Elsevier*, New York., (1968).
37. Lighthill M., J. and Whitham G., B., "On kinematic waves, I: flood movement in long rivers", *Proc. R. Soc. London A*, vol.229, no.1178, pp.281-316, (1955).
38. Loaiciga, H., and Marino, M., "An approach to parameter astimation and stochastic control in water resources with and application to reservoir operation", *Water Resources. Research*, 21(11), 1575-1584, (1985).

39. Yüksek İ., “Matlab ile mühendislik sistemlerinin analizi ve çözümü”, *Nobel Yayın*, No.672, Ankara, (2004).
40. McLaughlin, D., and Velasco, H., “Real-time control of a system of large hydropower reservoirs”, *Water Resources Research*, 26(4), 623-635, (1990).
41. Mishalani, N., and Palmer, N., “Forecast uncertainty in water supply reservoir operation”, *Water Resources Bulletin*, 24(6), 1237-1245, (1988).
42. Muray.D., and Yakowitz, S., “Constrained differential dynamic programming and its application to multi-reservoir control”, *Water Resources Research*, 15(5).1017.1027., (1979).
43. Nopmongcol, P., and Askew. A., “Multi-level incremental dynamic programming”, *Water Resources Research*, 12(6),1291-1297, (1976).
44. Ouarda, T., “Stochastic optimal operation of large scale hydropower systems”, *PhD dissertation, Dept. Of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, Colo.*, (1991).
45. Overton D. E., “Route or convolute?”, *Water Resources Research*, vol.4, no.1, pp.43-52, (1970).
46. Overton D. E., “Estimation of surface water lag time from the kinematic wave equations”, *Water Resources Bulletin*, vol.7, no.3, pp.428-440, (1971).
47. Overton D. E. and Meadows M. E., “Streamwater modeling”, *Academic Press*, New York, (1976).
48. Philbrick. C., and Kitanidis, P., “Limitations of deterministic optimization applied to reservoir operations”, *J. Water Resources Planning and Management*, 125(3), 135-142, (1999).
49. Ponce V. M., Li R. M. and Simons D. B., “Applicability of kinematic and diffusion models”, *J. Hyd. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, vol.104, no.HY3, pp.353-360, (1978).
50. Ponnambalam, K., and Adams, B. “Stochastic optimization of mutlireservoir systems using a heuristic algorithm: Case study from India”, *Water Resources Research*, 32(3), 733-741, (1996).
51. Roefs, T., and Bodin, T., “Multireservoir operation studies”, *Water Resouces Research*, 6(2). 410-420, (1970).
52. Saint-Venant Barre de, “Theory of unteady water flow with application to river floods and to propagation of tides in river channels”, *French Academy of Science*, vol.73, pp.148-154, 237-240, (1871).
53. Sen, S., and Yakowitz., S., “A quasi-Newton differential dynamic

programming algorithm for discrete-time optimal control”, *Automatica*, 23(6), 749-752, (1987).

54. 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).

55. 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).

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

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

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

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

60. Sherman B. and Singh V. P., “A kinematic model of surface irrigation”, *Water Resources Research*, vol.14, no.2, pp.357-364, (1978).

61. Sherman B. and Singh V. P., “A kinematic model of surface irrigation: an extension”, *Water Resources Research*, vol.18, no.3, pp.659-667, (1982).

62. 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).

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

64. Stephenson D. and Meadows M. E., “Kinematic hydrology and modeling”, *Developments in Water Science.26, Elsevier*, Amsterdam, (1986).

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

66. 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).

67. 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).

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

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

70. Unver, O., and Mays, L., “Model for real-time optimal flood control operation of a reservoir system”, *J. Water Resources Planning and Management*, 4, 21-46, (1990).

71. 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).

72. 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).

73. 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).

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

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

76. 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).

77. 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).

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

79. Yurtal R., “Çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırılmış dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası’na uygulanması”, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (101 S.),

(1993),

**80.** 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).

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

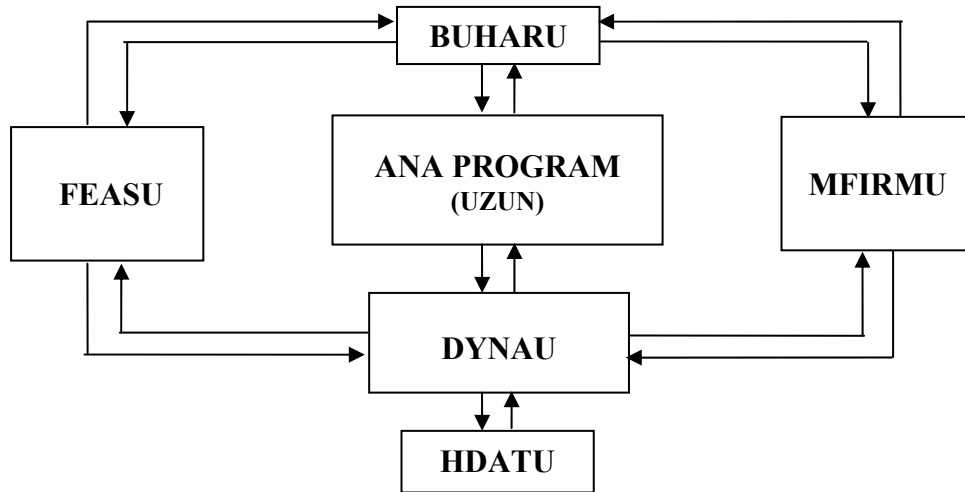
**82.** Wooding R. A., “A hydraulic model for the catchment-stream problem, II. numerical solutions”, *Journal of The Hydrology* , vol.3, no.1, pp.268-282, (1965b).

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

## EKLER (BİLGİSAYAR PROGRAMLARININ TANIMLANMASI ve AKIŞ ŞEMASI)

### EK A (UZUN DÖNEMLİ İŞLETME MODELİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI)

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



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 sağlanması istenilen en küçük güç (güvenilir güç)

FF :Primer enerji birim fiyatı

FS :Sekonder enerji birim fiyatı

KV(i) :i-barajında minimum depolanan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IV(i) :i-barajında maksimum depolanan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IQM(i) :i-barajından enerji için bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

HT(i,j) :i-barajında  $j \times 10^7 \text{ m}^3$  depolanan su miktarına karşılık gelen su yüksekliği (m)

JF(i,j) :i-barajına j-zamandaki havzasından gelen su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IS(i,j) :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ ) (Durum değişkeni)

IQ(i,j) :i-barajında j-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ ) (Karar değişkeni)

IR(i,j) :i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

IQS(JS,k):Bir önceki yinelemede JS-barajında k-zamanda bırakılmasına karar verilmiş su miktarı ( $10^7 \text{ m}^3$ )

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:

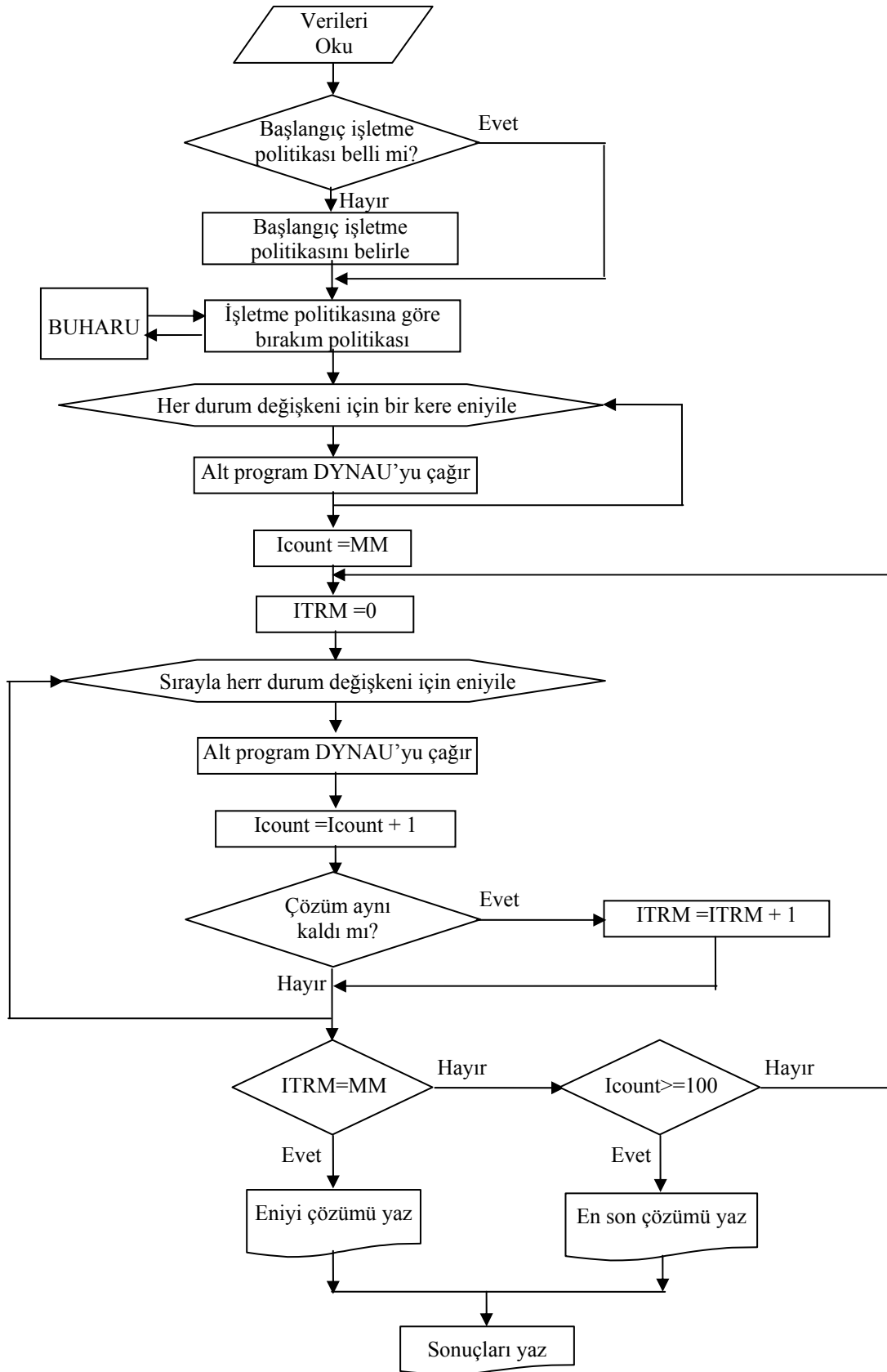
#### 1.Verilerin okunması işlemi

- 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),

şeklinde olmaktadır.

#### 2. Başlangıç politikasının sorgulanması işlemi

Ardışık yaklaşırmalı 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 geliştirilmiş 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 döndükten sonra, aşağıdaki denklemde enerji üretimi için bırakılan su miktarı,

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

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

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

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

bu durumda buradaki fazla su miktarı dolu savaktan bırakılacak,

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

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

şeklinde olup, enerji için bırakılan maksimum su miktarını aşmıyorsa,

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

olarak başlangıçta öngörülen değer geçerli olacaktır.

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 değışkeni göstergesi,  $JS=1,2,\dots,M$ :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 gidilmiştir. 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 ulaşamadı" 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)**

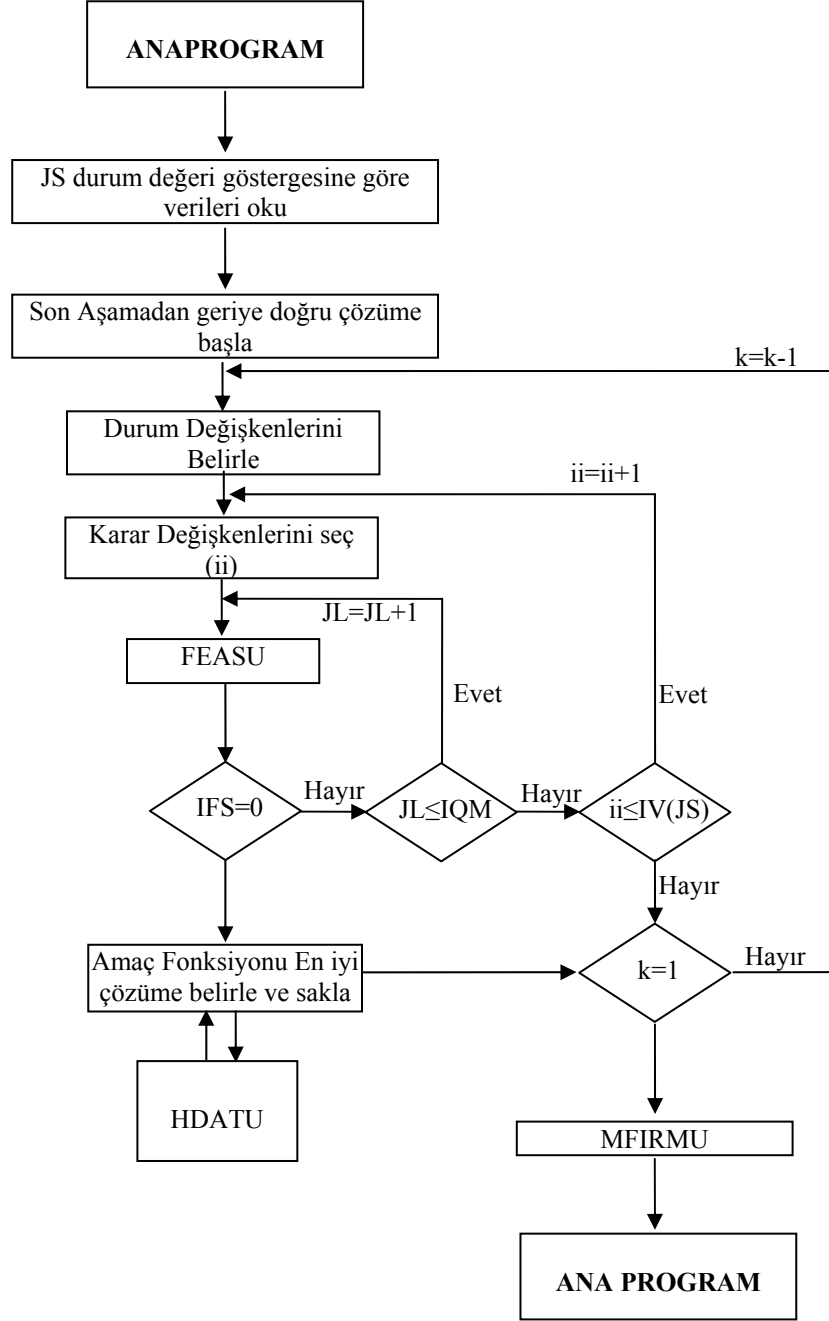
Ana program tarafından çağırılan bu alt program içerisinde, her bir aşamaya ait durum ve karar değişkeni değerlerinin sırayla ele alınarak amaç fonksiyonunda değerlendirildiği bir programdır. DYNAU alt programa bağlı diğer alt programlar, FEASU, MFIRMU ve HCEYU şeklindedir.

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 geliştirilmiş 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,



$$\text{SPI}(\text{ii},\text{JL}) > \text{PI}(\text{ii},\text{JL}) \text{ ise } \text{SPI}(\text{ii},\text{JL}) = \text{PI}(\text{ii},\text{JL})$$
$$\text{IC}(\text{ii},\text{JL}) = \text{IQ}(\text{JS},\text{k})$$

şeklinde olup, bu değerler IC değeri ile saklanmaktadır.

$\text{SPI}(\text{ii},\text{JL}) < \text{PI}(\text{ii},\text{JL})$  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,

$$\text{SPI}(\text{ii},\text{JL}) > \text{PGV}$$

güvenilir enerji ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa, aşama faydası

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

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

$$\text{SPI}(\text{ii},\text{JL}) > \text{PI}(\text{ii},\text{JL})$$

öngörülen minimum aşama faydası ile karşılaştırılmakta ve bunu sağlıyorsa,

$$\text{IC}(\text{ii},\text{JL}) = \text{IQ}(\text{JS},\text{k})$$

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)**

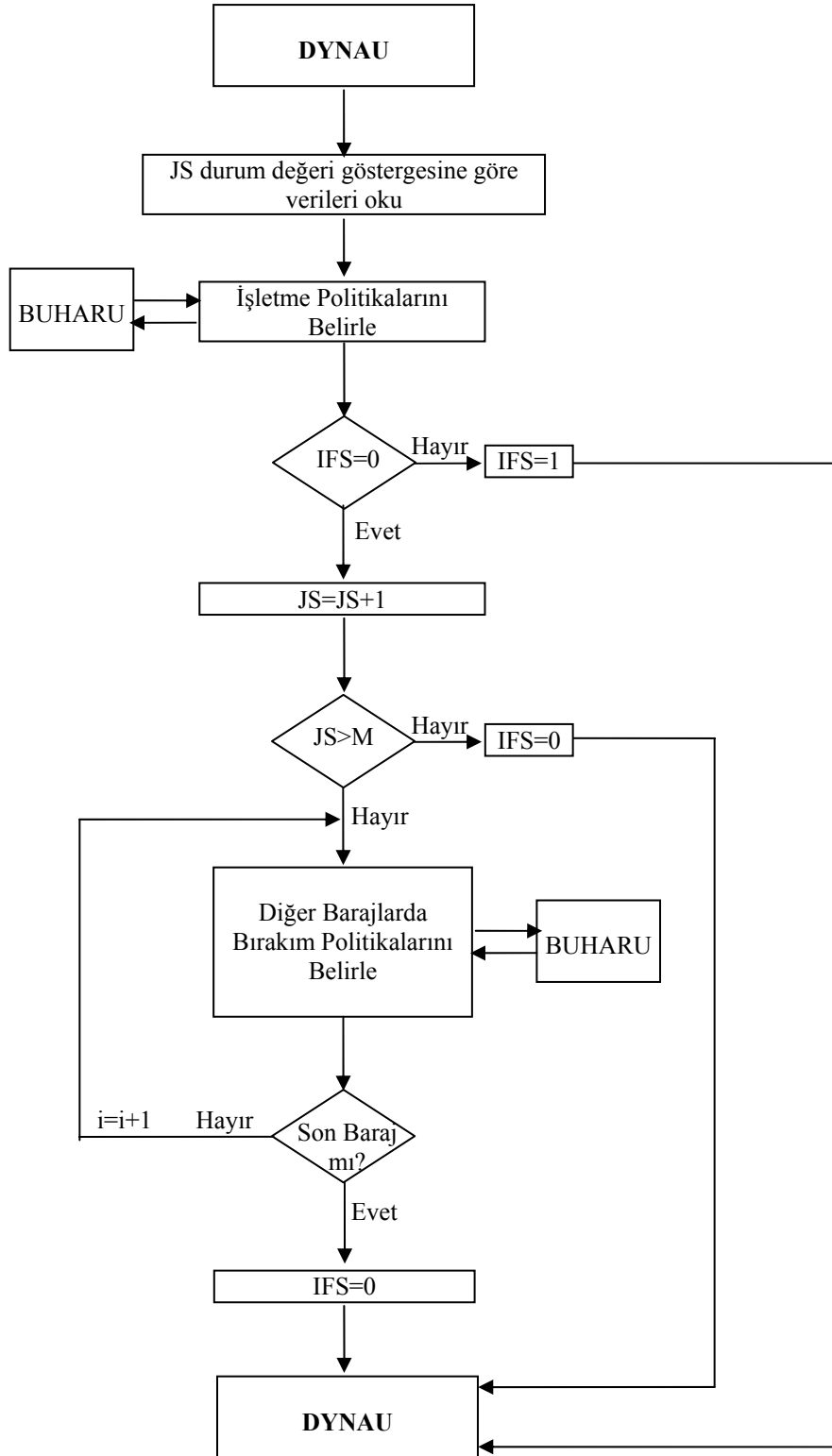
FEASU, DYNAU alt programının çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, bu programda JS-durum değişkeni göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni ve JL-karar değişkeni ikilisinin (IS, IQ) olurlu olup olmadığı belirlemeye yardımcı olan bir programdır. Bu alt programda, JS-durum değeri göstergesi 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 döndükten sonra,

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

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

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



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

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

$$IS(JS,k+1) < KV(JS) \text{ ise } IFS=1$$

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

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

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

$$IS(JS,k+1) > IV(JS) \text{ ise } IS(JS,k+1)=IV(JS), IR(JS,k)=IS(JS,k+1)-IV(JS)$$

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 döndükten sonra,

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

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

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

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

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

### 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 dönlüdükten sonra,

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

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

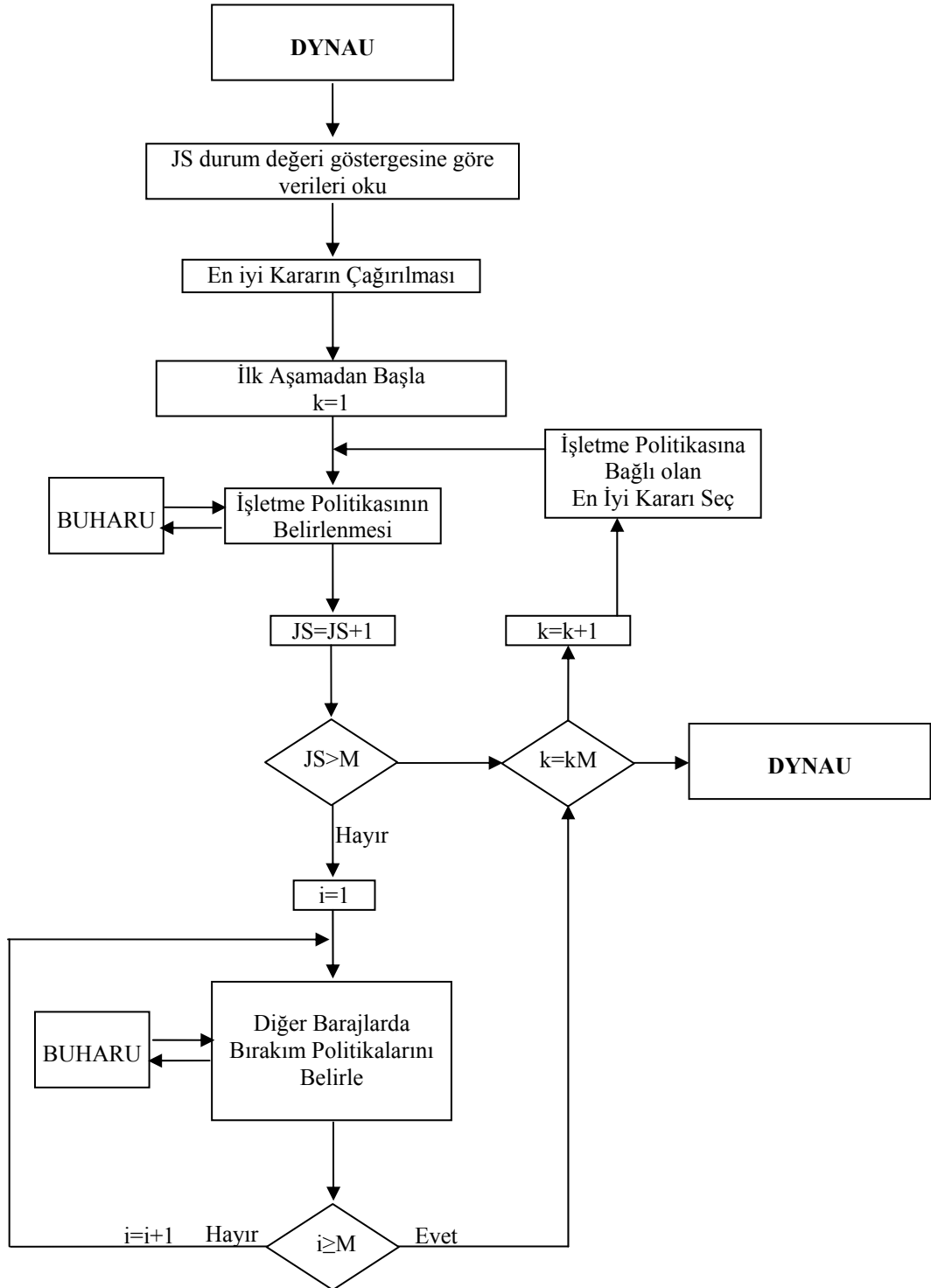
$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IQ(JS-1,k)+IR(JS-1,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \quad (JS=2,3..M \text{ için})$$

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

$$IS(JS,k+1)>IV(JS) \text{ ise } IS(JS,k+1)=IV(JS), \quad IR(JS,k)=IS(JS,k+1)-IV(JS)$$

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 geliştirilmiş 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 döndükten sonra,

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

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

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

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

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

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

olarak ve bu değere göre en iyi karar değişkeni çözümü

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

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

#### **A.1.4. Hdatu (Alt Program)**

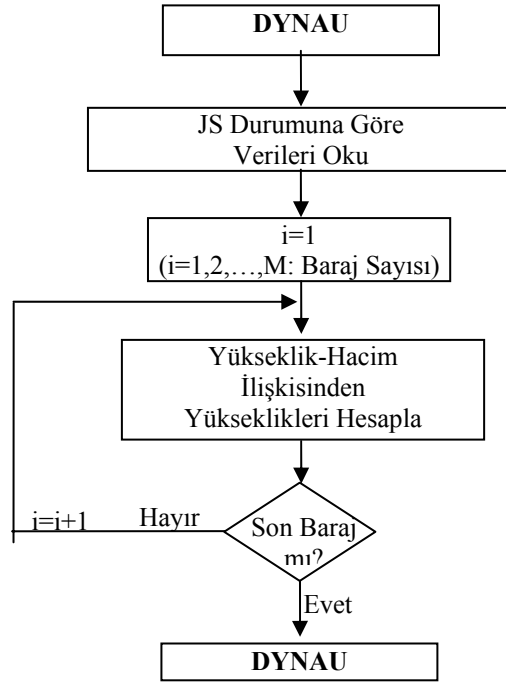
Alt program DYNAU' nun çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, maksimum ve minimum depolanan su miktarlarını, seviye-hacim arasındaki ilişkisi gösteren denklemler içerisinde kullanarak, bütün barajlara ait yükseklik matrisini hesaplayan bir yapıya sahiptir.

Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. Alt program DYNAU' da amaç fonksiyonu ile ilgili aşama faydasını belirlendiği yerde, JS-durum değeri göstergesine karşılık olan barajda herhangi bir ii-durum değişkenine ait depolanan su miktarına göre JS<sub>ii</sub> 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.

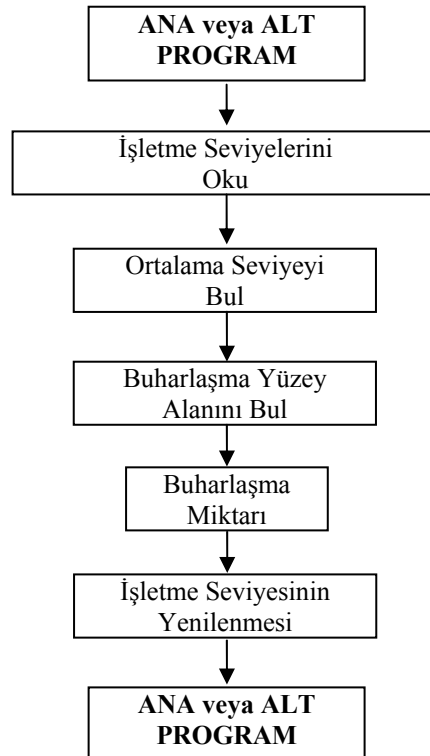
#### **A.1.5. Buharu (Alt Program)**

Bu alt program, ana program ve diğer alt programların çalıştırılması esnasında 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 geliştirilmiş akış şeması



Şekil A.7: Alt program BUHARU için geliştirilmiş 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,

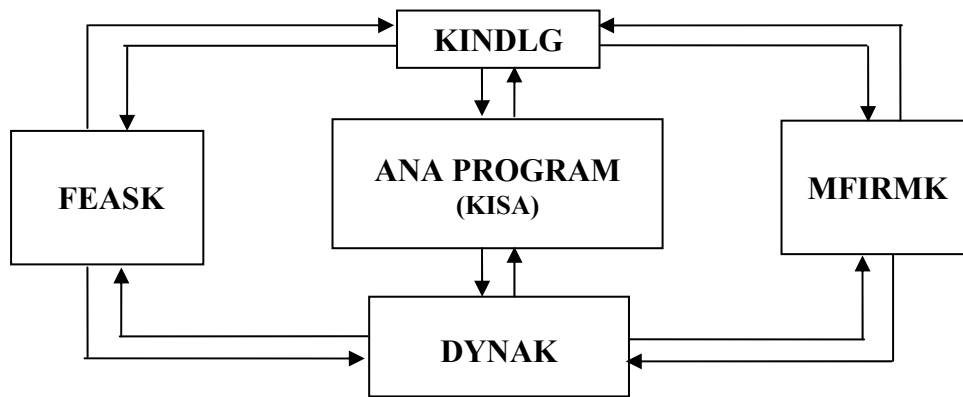
$$IS(i,k+1)=IS(i,k+1)-B(i,k)$$

olarak belirlenmekte ve bu işlemden sonra çağrılan programa geri dönülmektedir.

Şekil A.1: Uzun dönemli işletme modeli için bilgisayar programının yapısı .....	137
Şekil A.2: Ana program UZUN için geliştirilmiş akış şeması .....	140
Şekil A.3: Alt programın DYNAU için geliştirilmiş akış şeması .....	144
Şekil A.4: Alt programın FEASU için geliştirilmiş akış şeması .....	148
Şekil A.5: Alt program MFIRMU için geliştirilmiş akış şeması.....	151
Şekil A.6: Alt program HDATU için geliştirilmiş akış şeması.....	154
Şekil A.7: Alt program BUHARU için geliştirilmiş akış şeması.....	154

## EK B (KISA DÖNEMLİ İŞLETME MODELİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI)

Bu işletme modeline ait bilgisayar programının yapısında, ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmaktadır. Burada, veri olarak 100 yıl tekerrür aralıklı PMF taşkın hidrografi (tasarım amaçlı taşkın hidrografi) kullanılmaktadır. Amaç fonksiyonu, öngörülen taşkın durumunda barajdan bırakılacak akım miktarının pik değerinin en küçüklenmesi şeklindedir. Bu amacın gerçekleşmesi esnasında, mansapta emniyetli debi çıkışı sağlanıp sağlanmaması durumu gözetilerek işletme seviyelerinin üst sınırının yenilenmesi ile zahiri bir su yüksekliği tanımlanmakta, sonuçta buna bağlı olarak optimal taşkın kontrol işletme seviyeleri elde edilmektedir. Ayrıca, barajdan bırakılan akımların diğer baraj aksına taşınması esnasında, akarsu yatağında ötelemesi durumu için kinematik dalga yaklaşımı esaslı bir model kullanılmaktadır. Burada modelde öngörülen amaca uygun olarak yazılan bilgisayar programı, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla, birbirine seri olarak bağlı ve istenen sayıda taşkın öteleme amaçlı depolamalı barajların oluşturduğu su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.



Şekil B.1: Kısa dönemli işletme modeli için bilgisayar programının yapısı

Bilgisayar programı, bir ana program ve dört alt programdan oluşmaktadır. Programın yapısı ve ana programla alt programların birbiri ile ilişkileri Şekil 2.1' 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 (saat)

IW :Başlangıç işletme politikasının belirli olup olmadığını gösteren bir parametre, IW=1 ise belirli, IW=0 ise belirsiz

KV(i) :i-barajında minimum depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IV(i) :i-barajında maksimum depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IQM(i) :i-barajından enerji için bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

RM(i) :i-barajından dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

JF(i,j) :i-barajına j-zamandaki havzasından gelen su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IS(i,j) :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Durum değişkeni)

IXQ(i,j):i-barajında j-zamanda enerji üretimi ve dolu savaktan bırakılan toplam su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Karar değişkeni)

IQS(JS,k):Bir önceki yinelemede JS-barajında k-zamanda bırakılmasına karar verilmiş su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

SPIK(i,j) :i-durum değişkeni değerinde j-karar değişkenindeki aşama faydası

ID(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 değeri belirleyen gösterge

KT :Alt program FEASK' e tarafından alt program DYNAK tarafından ele alınmış aşamayı bildirmek için kullanılan aşama göstergesi

IFS :Alt program FEASK tarafından alt program DYNAK' 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.)

## B.1. Kısa (Ana Program)

Ana programın yaptığı işlemler şunlardır:

### 1. Verilerin okunması işlemi

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

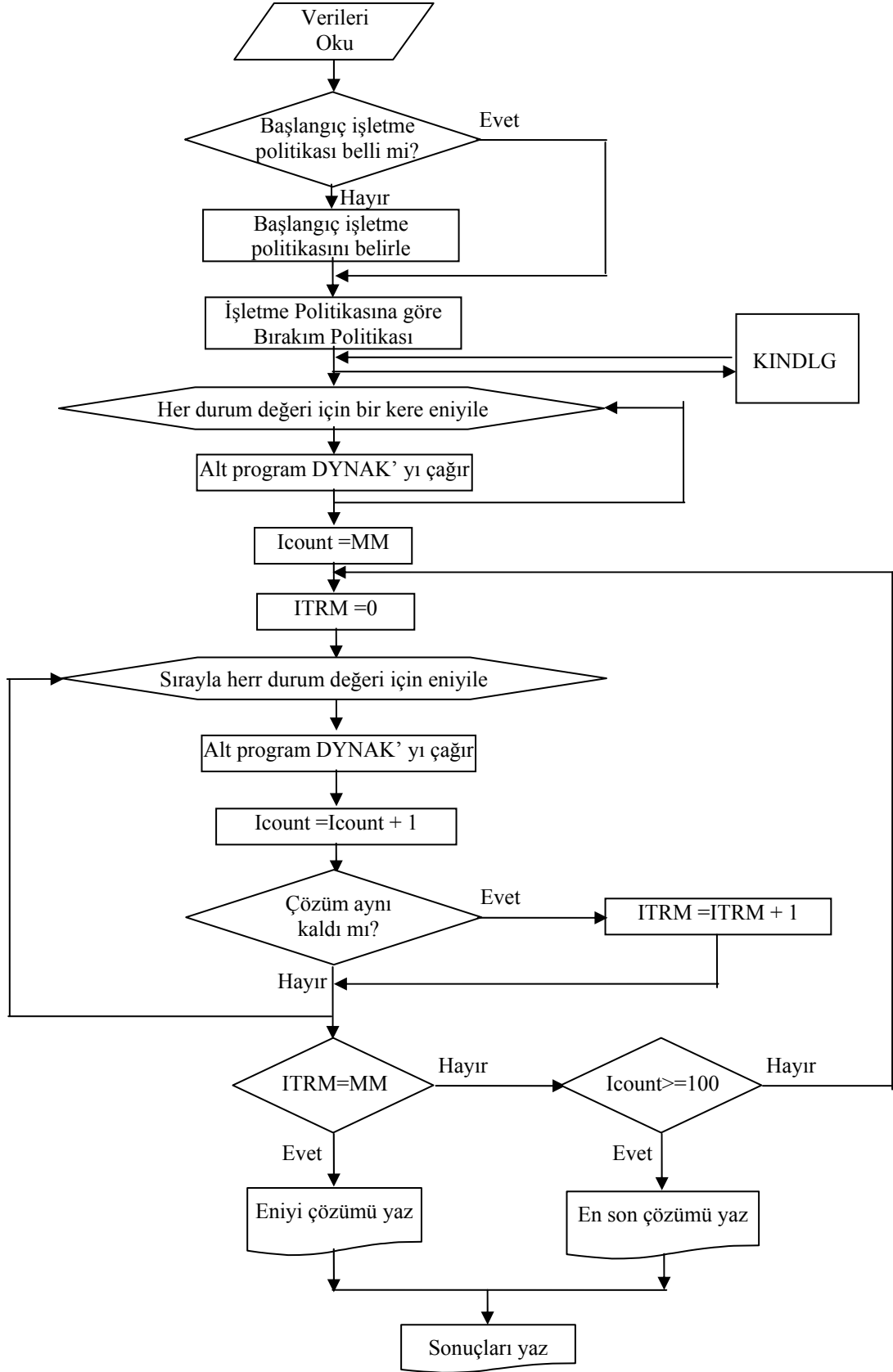
şeklinde olmaktadır.

### 2. Başlangıç politikasının sorgulanması işlemi

Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama yaklaşımının kısa sürede sonuç vermesi için üretilen başlangıç politikası, her bir barajın her bir dönemi için ya önceden belirlenmiş yada 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.

### 3. Başlangıç politikası kullanılarak su bırakım miktarlarının hesaplanması işlemi

Su bırakım miktarları, her bir baraj için su dengesi ilişkisinden belirlenmektedir. İlk olarak, taşkın durumu için bırakılan toplam su miktarı,



Şekil B.2: Ana program KISA için geliştirilmiş akış şeması

$$IXQ(i,j)=JF(i,j)+IS(i,j)-IS(i,j+1) \quad (i=1,2,\dots,M \text{ ve } j=1,2,\dots,KM \text{ için})$$

şeklinde belirlenmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir.

4. Başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için ana programdan alt program DYNAK' ya gidilmektedir. Alt program DYNAK ile ilgili açıklamalar Bölüm 2.1.1' de verilmektedir.

(i=JS: durum değeri 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 DYNAK' ya gidilmiştir. 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 IXQ bırakım değerleri,

$$IQS=IXQ$$



şeklinde alınıp, çözüm neticesinde,

$$IXQ=IQS$$

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

$$ITRM=ITRM+1$$

olacaktır. Eşitlik devam etmiyorsa, yeni IXQ, IQS e eşitlenerek çözüm yineleneyecektir. Bu durumda,

$$ICOUNT=ICOUNT+1$$

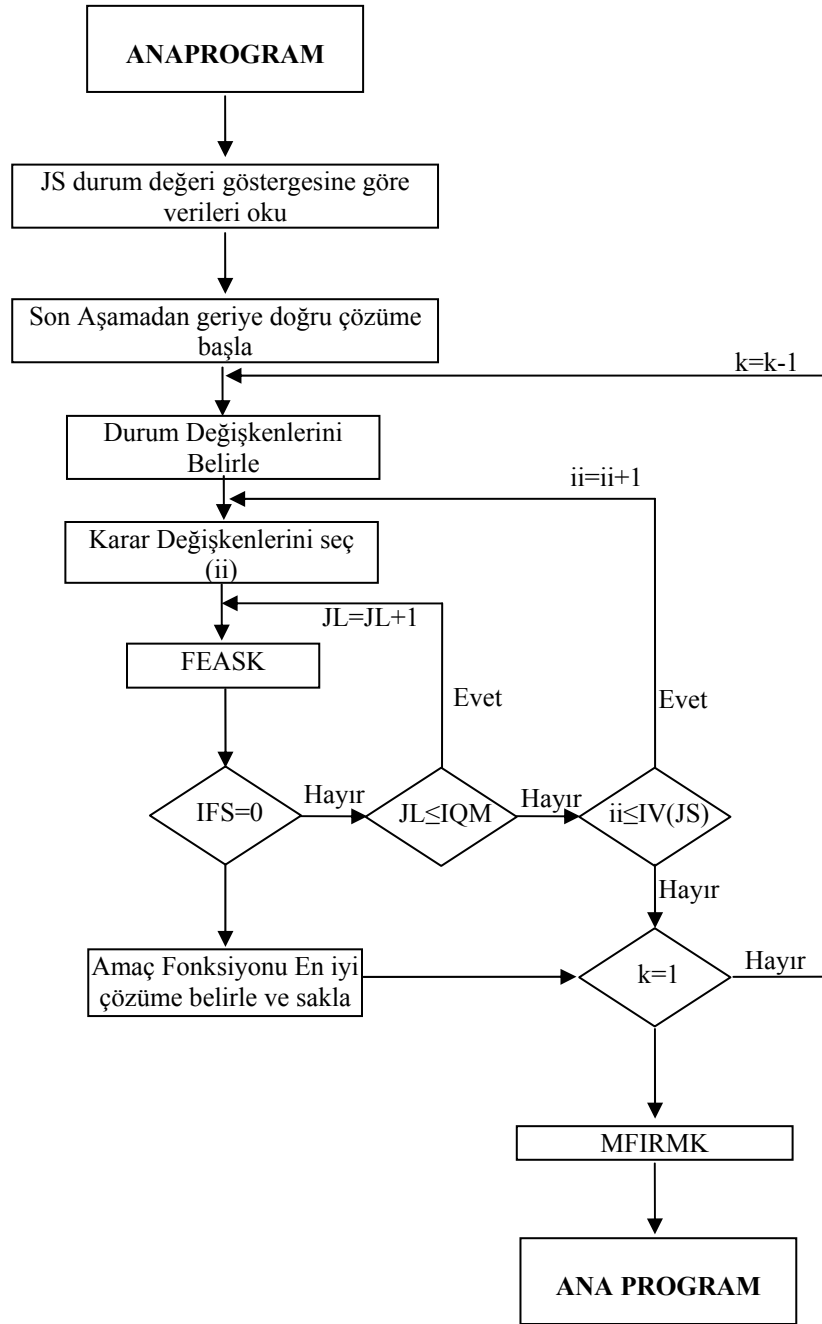
olmaktadır.

Bu işlemler belirli bir ICOUNT' a ve ITRM=M' ye kadar devam edecektir. Öngörülen ICOUNT' da çözüme ulaşılmadıysa, program sona erdirilip, sonuçlar "Çözüme ulaşamadı" 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.

### **B.1.1. Dynak (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. DYNAK alt programına bağlı diğer alt programlar, FEASK ve MFIRMK şeklindedir.



Şekil B.3: Alt program DYNAPAK için geliştirilmiş akış şeması

Burada, yapılan işlemler şunlardır:

1.Son aşamadan başlanarak geriye doğru gidilmesi

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

$$KV(JS) < ii < IV(JS) \text{ ve} \\ 0 < JL < IQM(JS)$$

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

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

$$IS(JS,k) = ii, \\ IXQ(JS,k) = JL$$

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

3. FEASK tarafından DYNAK' ya olurlu olarak gelen IXQ ve IS değerlerini kullanarak, ilk aşama faydası

$$SPI(ii,JL) = SPI(ii,JL) + IXQ(JS,k)$$

olarak hesaplanmakta ve bu değer

$$SPI(ii,JL) > IQM(JS)$$

şeklinde karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa,

$$SPI(ii,JL) = 0$$

kabul edilerek ikinci aşama faydası,  $i=1,2,\dots,M$  ye kadar toplanarak,

$$SPI(ii,JL) = SPI(ii,JL) + IXQ(i,k) \quad (i=1,2,\dots,M)$$

olarak bulunmaktadır. Buradan elde edilen değer,

$$SPI(ii,JL) < ID(ii,k)$$

ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa,

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

alınarak, bu değerler IC matrisi olarak saklanmaktadır.

Eğer bu karşılaştırmalardan biri sağlanmıyorsa, başka bir JL değerini seçilmekte, yeniden altprogram FEASK' e gidilmektedir. Ancak ii-durum değişkeni için bütün karar değişkenleri denenmişse, o zaman JS' e ait yeni bir ii-durum değişkeni için JL- karar değerleri seçilerek işlemler yürütölmektedir.

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 sürdürölmektedir.

#### 4. DYNAK' nın alt programı olan MFIRMK' e gidilmesi

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

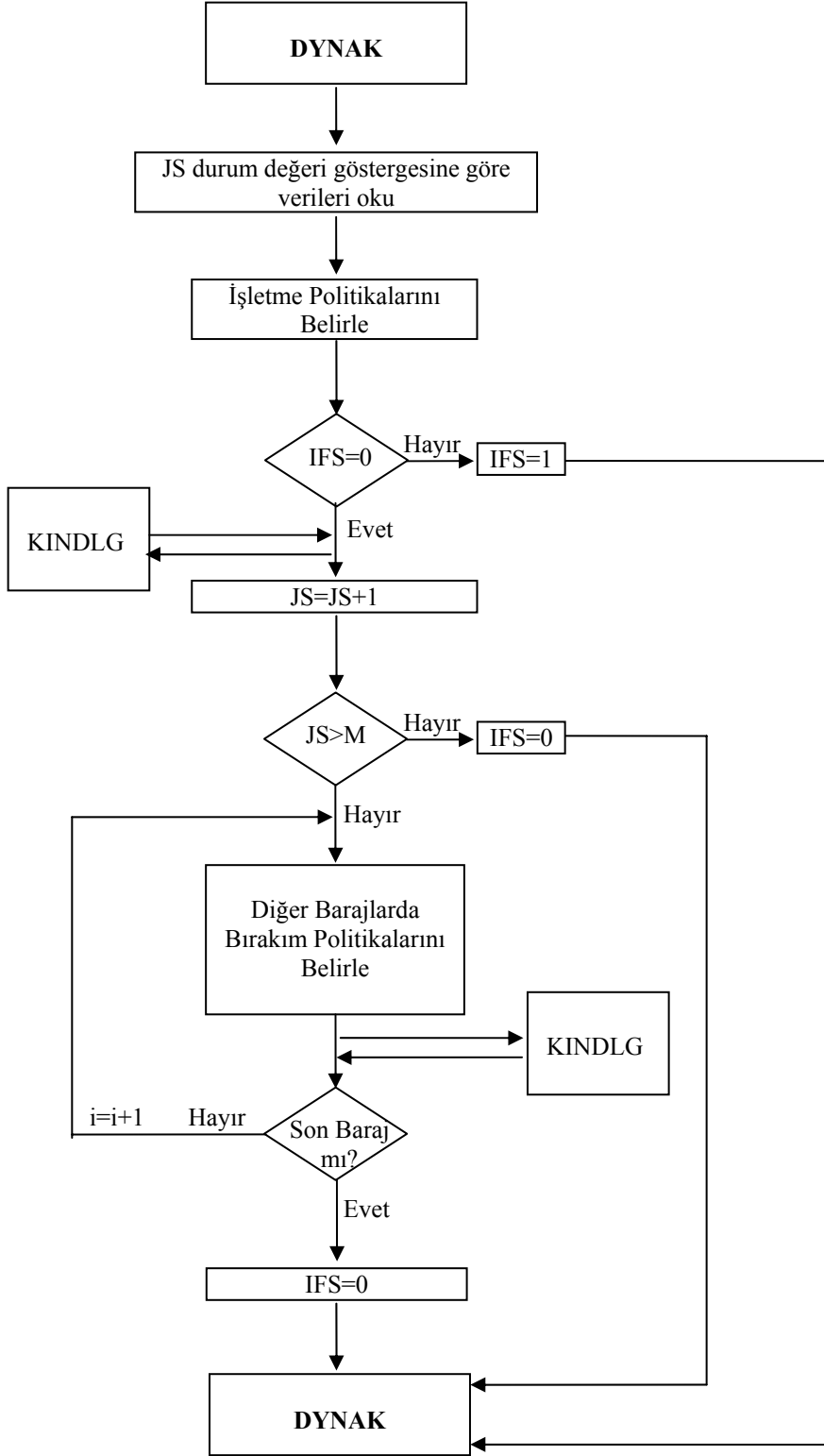
#### 5. Ana programa geri dönülmesi ile DYNAK sonlandırılmaktadır.

### **B.1.2. Feask (Alt Program)**

FEASK, DYNAK programının bir alt programı olup, bu programda JS-durum değeri göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni ve JL-karar değişkeni ikilisinin(IS, IQ) olurlu olup olmadığını belirlemek için çağrılan 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 bu değerlerini olurlu olup olmadığını göstergesi olarak IFS parametresi tanımlanmaktadır. Eğer, bu ikili olurlu ise IFS=0, olursuz ise IFS=1 olarak seçilerek, bu durum DYNAK' ya bildirilmektedir.

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

$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IXQ(JS,k) \quad (JS=1,2,\dots,M \text{ için})$$



Şekil B.4: Alt program FEASK için geliştirilmiş akış şeması

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

$$IS(JS,k+1) < KV(JS) \text{ ise } IFS=1$$

elde edilmekte olup, ana programı DYNAK' ya dönülerek JS-durum değeri göstergesine ait aynı ii-durum değişkeni ile farklı JL-karar değeri  $JL=JL+1$  olarak seçilip, alt program FEASK' ya tekrar gelindikten sonra, bu ikili değerlerin olurlu olup olmaması irdelenmektedir. Eğer

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

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

$$IS(JS,k+1) > IV(JS) \text{ ise } IS(JS,k+1)=IV(JS), IXQ(JS,k)=IXQ(JS,k)+IS(JS,k+1)-IV(JS)$$

değerleri elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Daha sonra, 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,

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

olarak belirlenip, buradan, KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Bütün barajlar için bu değerler belirlendikten sonra,  $IFS=0$  alınarak ana program DYNAK' ya geri dönülmektedir.

### B.1.3. Mfirmk (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 MFIRMK' dir .

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

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

şeklinde olmakta, buradan ilk aşamadan başlanarak işletme politikaları,

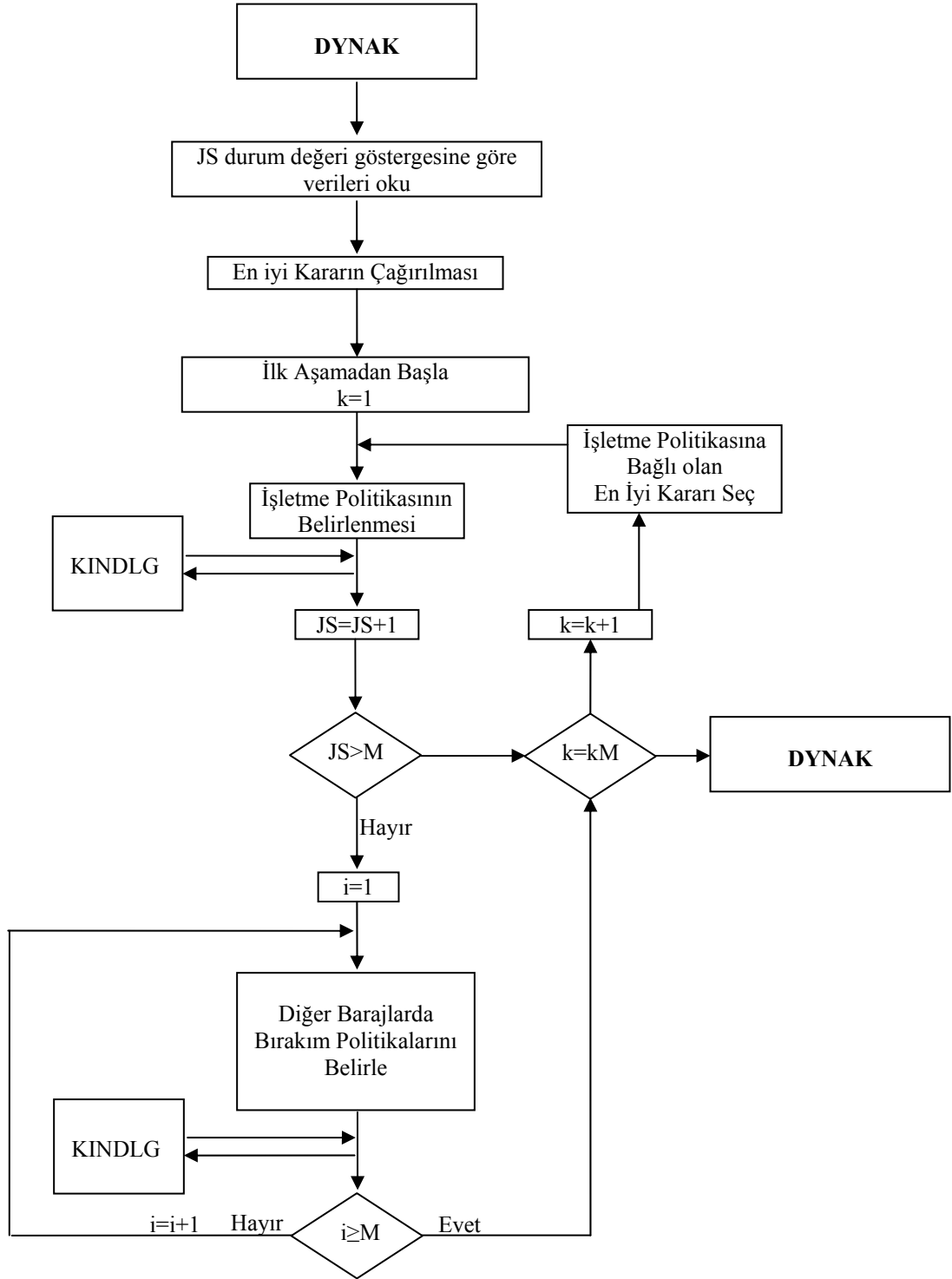
$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IXQ(JS,k) \quad (JS=1,2,..M \text{ için})$$

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

$$IS(JS,k+1)>IV(JS) \text{ ise } IS(JS,k+1)=IV(JS), IXQ(JS,k)=IXQ(JS,k)+IS(JS,k+1)-IV(JS)$$

değerleri elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Daha sonra diğer baraja geçmek için, 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, en iyi durum değişkeni sayısı





Şekil B.5: Alt program MFIRMK için geliştirilmiş akış şeması

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

olarak belirlenmekte ve buna göre en iyi karar değişkeni çözümü

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

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,

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

olarak belirlenip, buradan, KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Daha sonra, ikinci aşamaya geçmeden önce, (k+1). aşama için, işletme seviyesine karşılık gelen en iyi durum değişkeni sırası,

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

olarak ve bu değere göre en iyi karar değişkeni çözümü

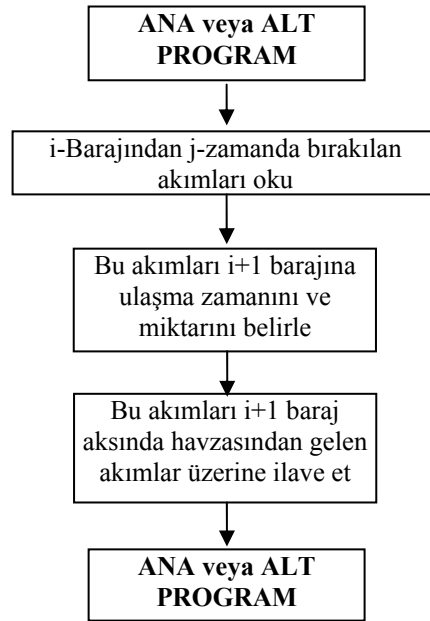
$$IXQ(JS,k+1)=IC(kx,k+1)$$

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.

#### B.1.4. Kindlg (Alt Program)

KISA, FEASK ve MFIRMK programlarının çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, bir taraftan dolu savak ve enerji üretimi kapasitesine göre bırakılan akımların akarsu yatağı özelliklerine bağlı olarak ötelenmesini hesaplamakta, diğer taraftan da bu ötelenen akımların diğer baraj aksında, barajın havzasından gelen akımlar üzerine ilave etmektedir.

Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. İlk olarak dolu savak ve enerji üretimi kapasitelerinin oluşturduğu toplama kapasite ile karşılaştırmaktadır. Burada bırakılan akım, bu kapasiteden küçük ise, bırakılma zamanı, akımın diğer baraja ulaşma zamanını belirleyen denklemden elde edilen zamanın üzerine ilave edilmekte ve diğer baraja ulaşma değerini belirleyen denklemler ile akımın ötelenmesi gerçekleştirilmektedir. Bırakılan akım bu kapasiteden büyük ise, kapasiteye aşmayacak şekilde öngörülen bırakılma hidrografı ile, akımın diğer baraja ulaşma zamanı ve değeri belirlenmektedir. Bu elde edilen değerler diğer baraj aksında, barajın havzasından gelen akımlar üzerine, ilgili zaman durumuna göre ilave edilmektedir. Böylece akımlar diğer baraj aksına taşınmaktadır.



Şekil B.6: Alt program KINDLG için genelleştirilmiş akış şeması

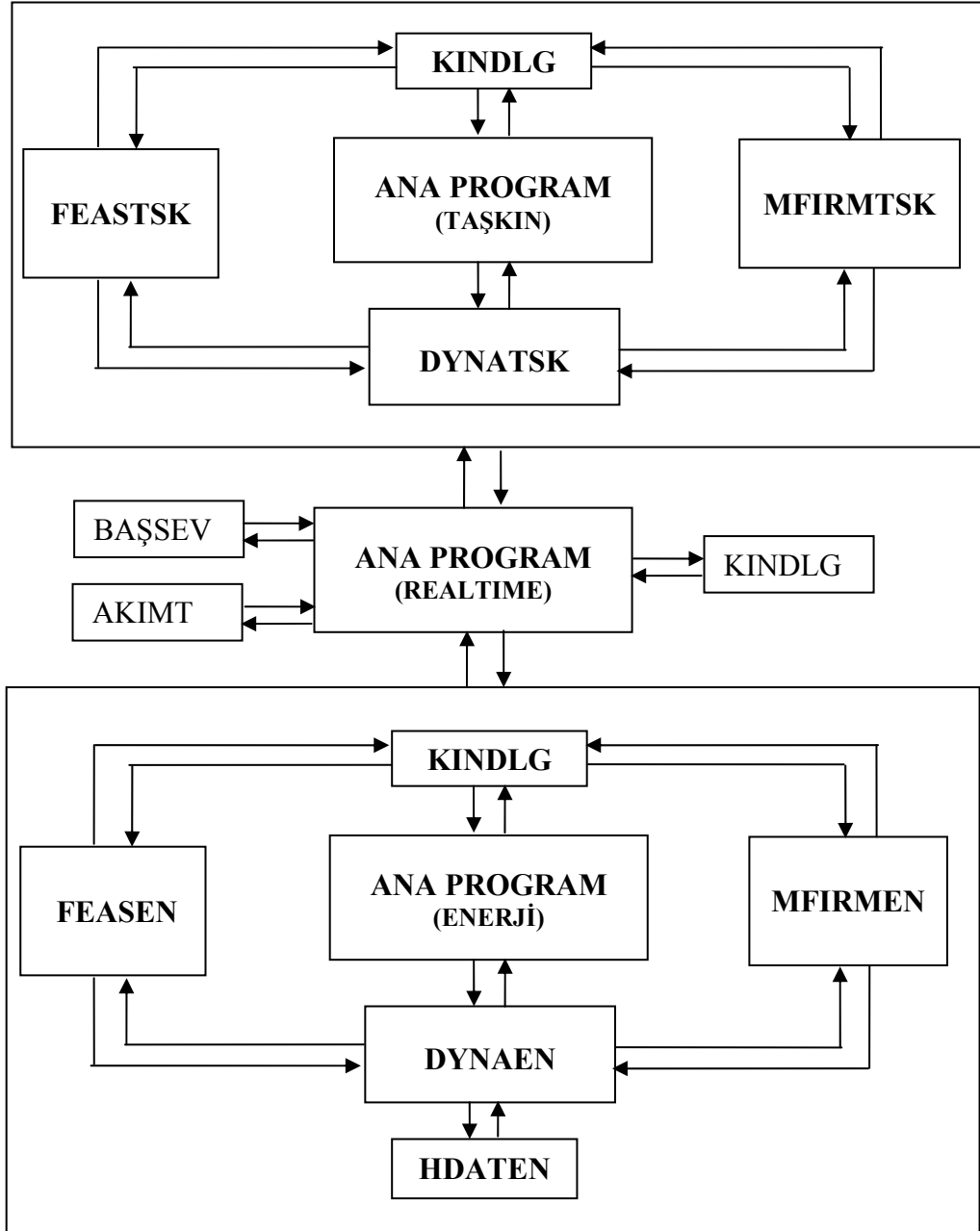
Şekil B.1: Kısa dönemli işletme modeli için bilgisayar programının yapısı.....	156
Şekil B.2: Ana program KISA için geliştirilmiş akış şeması .....	159
Şekil B.3: Alt program DYNAK için geliştirilmiş akış şeması.....	162
Şekil B.4: Alt program FEASK için geliştirilmiş akış şeması .....	166
Şekil B.5: Alt program MFIRMK için geliştirilmiş akış şeması.....	169
Şekil B.6: Alt program KINDLG için geliştirilmiş akış şeması.....	171

## **EK C (GERÇEK ZAMANLI OPTİMAL İŞLETME MODELİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI)**

Bu işletme modele ait bilgisayar programının yapısında, gelen taşkın akım verisinin uzun ve kısa süreli işletme politikaları ile bütünleştirilerek barajlarda anlık işletme için başlangıç seviyesinin belirleyen bir yaklaşım, gelen akımdan gelebilecek akımları doğrusal olarak tahmin eden bir yaklaşım, enerji enbüyüklenme ve taşkın enküçüklenme amaçlı ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon tekniği ve akımların akarsu yatağında ötelenmesini hesaplayan kinematik dalga yaklaşımı kullanılmaktadır.

Gerçek zamanlı optimal işletme yaklaşımında, ilk olarak olası bir taşkın durumuna ait kısa süreli hidrograf verileri, uzun ve kısa süreli işletme politikaları ile bütünleştirilerek barajlarda anlık işletme için başlangıç seviyesi belirlenmektedir (BAŞSEV ile). Bu verilerden, 1' er saatlik 6 adet tahmini akım verisi (AKIMT ile) öngörülerek planlama süreci başlatılmaktadır. Bu girdiler, taşkın en büyük değerini enküçükleyen ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon modeline (TAŞKIN ile) ve enerji üretimini enbüyüklemek amaçlı ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama optimizasyon modeline (ENERJİ ile) girilip elde edilen işletme politikaları birbiriyle karşılaştırılmaktadır. Bu süreç üzerine başka bir yaklaşımda üretilmiştir. Bu yaklaşımda, olası taşkın hidrografında tahmin edilen 6 adet taşkın akım verisi, taşkın işletme seviyesi ve aylık normal işletme seviyesi ile ilişkilendirilip (BAŞSEV ile) buna göre belirlenen işletme politikası ile aynı verilerle elde edilen enerji optimizasyonu amaçlı optimal işletme politikası (ENERJİ ile) karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak, karşılaştırma sürecinde, enerji üretimi bakımından büyük olan optimal bırakım politikasına karar verilmektedir. Buradan bir barajdan diğerine bırakılmasına karar verilen optimal bırakım miktarının akarsu yatağında ötelenmesinin durumu, kinematik dalga yaklaşımı (KINDLG) ile göz önüne alınmaktadır. Bu işlem, olası taşkın durumunun sona ermesine kadar devam etmektedir. Böylece, olası taşkın durumunda hem taşkından oluşabilecek zararlar en

aza indirgenebilmekte hem de bu durumda enerji üretimi sağlanabilmekte ve de optimal işletme kuralları gözetilerek gerçek zamanlı optimal işletme yapılabilmektedir.



Şekil C.1: Gerçek zamanlı optimal işletme modeli için bilgisayar programının yapısı

Burada modelde öngörülen amaca uygun olarak program, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla,

birbirine seri olarak bağılı ve istenen sayıda enerji enbüyüklenme ve taşkın enküçüklenme amaçlı depolamalı barajının oluşturduğu su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Bilgisayar programı, bir ana program ve on iki alt programdan oluşmaktadır. Programın yapısı ve ana programla alt programların birbiri ile ilişkileri Şekil 3.1' de verilmiştir.

Ana programda ve alt programlarda kullanılan değişkenler aşağıda verildiği gibidir.

M :Baraj sayısı

KMM :Gerçek zamanlı optimal işletmede, öngörülen dönem sayısı (saat)

KM :Hem ENERJİ hem de TAŞKIN alt programındaki optimizasyon süresindeki dönem sayısı (saat)

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 ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IV(i) :i-barajında maksimum depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IQM(i) :i-barajından enerji için bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

RM(i) :i-barajından dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

HT(i,j) :i-barajında  $j \times 10^6 \text{ m}^3$  depolanan su miktarına karşılık gelen su yüksekliği (m)

JF(i,j) :i-barajına j-zamandaki havzasından gelen su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

ISV(i,j):Gerçek zamanlı optimal işletmede, i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

ise(i,j) :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Enerji Amaçlı DP' de Durum değişkeni)

isc(i,j) :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Taşkın Öteleme Amaçlı DP' de Durum değişkeni)

IQV(i,j): Gerçek zamanlı optimal işletmede, i-barajında j-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IRV(i,j): Gerçek zamanlı optimal işletmede, i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

iqe(i,j): i-barajında j-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Enerji Amaçlı DP' de Karar değişkeni)

ire(i,j): i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Enerji Amaçlı DP' de)

iqc(i,j): i-barajında j-zamanda enerji üretimi bırakılan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Taşkın Öteleme Amaçlı DP' de Karar değişkeni)

irc(i,j): i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ ) (Taşkın Öteleme Amaçlı DP' de)

IQS(JS,k): Bir önceki yinelemede JS-barajında k-zamanda bırakılmasına karar verilmiş su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

SPIE(i,j) :i-durum değişkeni değerinde j-karar değişkenindeki aşama faydası(Enerji Amaçlı DP' de)

SPIT(i,j) :i-durum değişkeni değerinde j-karar değişkenindeki aşama faydası(Taşkın Öteleme Amaçlı DP' de)

IDE(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamasındaki en iyi aşama faydası (Enerji Amaçlı DP' de)

ICE(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamadaki en iyi aşama faydasını veren karar değişkeni değeri (Enerji Amaçlı DP' de)

IDT(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamasındaki en iyi aşama faydası(Taşkın Öteleme Amaçlı DP' de)

ICT(i,k) :i-durum değişkeni değerinde k-aşamadaki en iyi aşama faydasını veren karar değişkeni değeri(Taşkın Öteleme Amaçlı DP' de)

JS : Eniyileme yapılmak üzere ele alınmış durum değeri belirleyen gösterge

KT :Alt program FEASK' e tarafından alt program DYNAK tarafından ele alınmış aşamayı bildirmek için kullanılan aşama göstergesi

IFS :Alt program FEASK tarafından alt program DYNAK' 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.)

### C.1. Realtime (Ana Program)

Ana programın yaptığı işlemler şunlardır:

#### 1. Verilerin okunması işlemi

- Baraj sayısı (M)
- Dönem sayısı (KM)
- Her i-barajından enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarı IQM(i) (i=1,2,3,...M)
- Her i-barajından dolu savaktan bırakılacak maksimum su miktarı IRM(i) (i=1,2,3,...M)
- Her i-barajında maksimum su seviyesi (IV(i))
- Her i-barajında minimum su seviyesi (KV(i))
- Her i-barajına havzasından j-zamanda gelen saatlik su miktarı (kjf(i,j))
- Her i-barajı için j-zamana (ay) ait normal işletme seviyesi (isn(i,j))
- Her i-barajı için j-zamana (ay) ait minimum işletme seviyesi (ism(i,j))
- Her i-barajındaki söz konusu ay için ortalama akım miktarı (jfort(i))
- Her i-barajına havzasından j-zamanda gelebilecek tahmini saatlik su miktarı (jf(i,j))
- Her i-barajı için j-zamana (ay) ait optimal taşkın kontrol seviyesi (istas(i,j))
- Her i-barajına j-zamanda (saat) gelebilecek tasarım amaçlı taşkın hidrografi (tas(i,j))

şeklinde olmaktadır.

#### 2. Her i-barajı ve j-zamanında taşkın durumunun olup olmadığının kontrol edilmesi

Burada i-barajına havzasından j-zamanda gelebilecek akım ile taşkın durumu için belirlenen akım karşılaştırılmakta, gelebilecek akım küçükse, aylık normal işletme

seviyesinden işletmeye devam edilmektedir. Gelebilecek akım büyük ise, taşkın durumu için aşağıda öngörülecek başlangıç işletme seviyeleri belirlenmektedir.

3. Her  $i$ -barajında Kısa süreli taşkın hidrografi akım verisinin  $j=1$ . saat zamanı için 6 adet 1'er saatlik tahmini akım verisinin belirlenmesi (AKIMT alt programı ile)

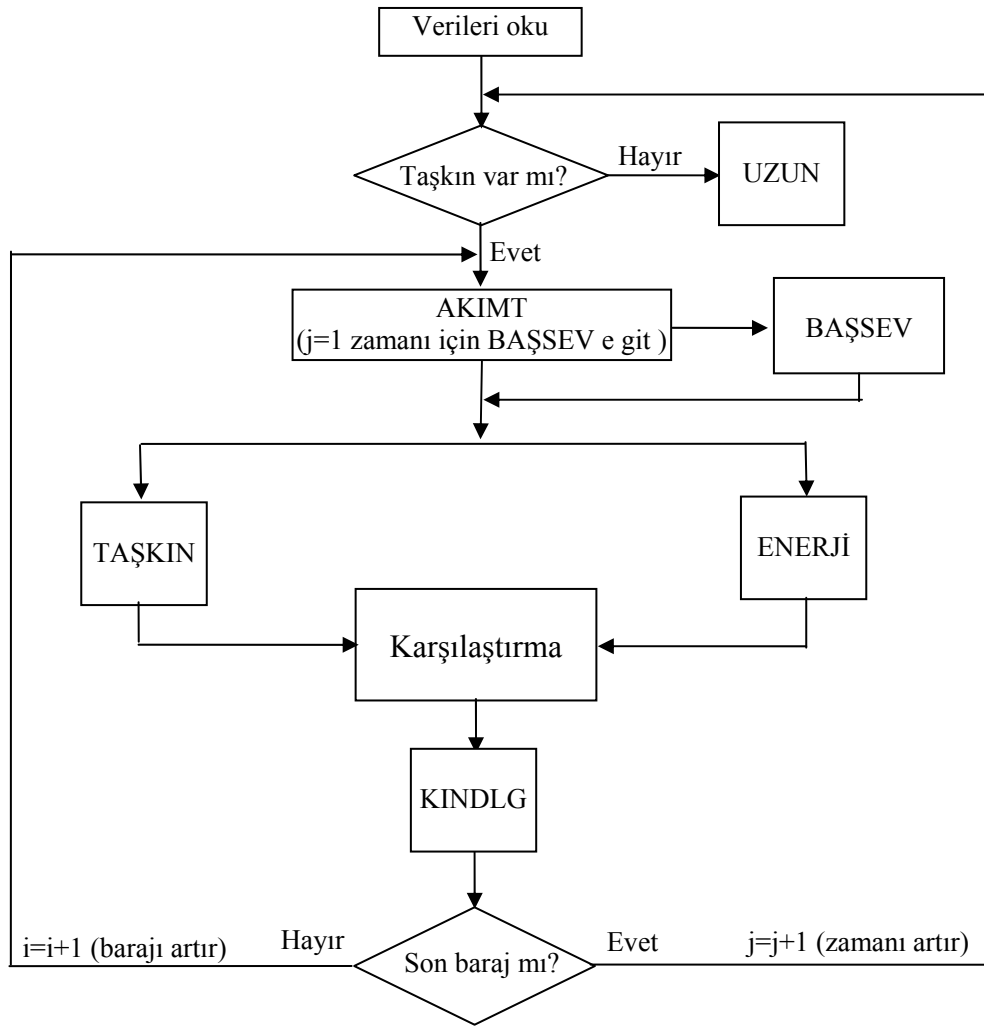
Burada ilk olarak, her  $i$ -barajında Kısa süreli taşkın hidrografi ( $kjf(i,j)$ ) akım verisi ile ortalama akım verisi ( $jfort(i)$ ) arasında  $j=1$ . saat zamanı için doğrusal bir ilişki kurarak 6 adet gelebilecek akım verisi tahmini yapılmaktadır. Bu tahmin edilen veriler, en az ortalama akım verisi ( $jfort(i)$ ) kadar olmalıdır.

4. Her  $i$ -barajında  $j=1$ . saat zamanı için elde edilen tahmini akım verileri kullanılarak işletme seviyesi düzeltme faktörünün belirlenmesi ve başlangıç işletme seviyesinin belirlenmesi (BAŞSEV altprogramı ile)

Burada AKIMT 'den her  $i$ -barajı ve  $j=1$ . saat zamanı için 6 adet saatlik tahmini akım verileri ile öngörülen olası taşkın hidrografının akım verileri arasında kurulan denklemlerde ilk olarak seviye düzeltme faktörü belirlenmektedir. Elde edilen seviye düzeltme faktörü, uzun ve kısa süreli işletme modellerinden elde edilen işletme politikaları ile birlikte kullanılarak her  $i$ -barajı için başlangıç işletme seviyesi belirlenmektedir.

5. Her  $i$ -barajı ve  $j$ -zamanı için kısa süreli taşkın hidrografi akım verisinden elde edilen 6 adet saatlik tahmini akım verileri, enerji enbüyüklenmesi amaçlı ardışık yaklaşıklamalı dinamik programlama optimizasyon yöntemimi kullanan alt program ENERJİ' ye gönderilerek optimal bırakım politikasının belirlenmesi ( $iqe(i,j)$ )

6. Her  $i$ -barajı ve  $j$ -zamanı için kısa süreli taşkın hidrografi akım verisinden elde edilen 6 adet saatlik tahmini akım verileri, taşkın durumunda taşkın pikinin enküçüklenmesi amaçlı ardışık yaklaşıklamalı dinamik programlama optimizasyon yöntemimi kullanan alt program TAŞKIN' a gönderilerek optimal bırakım politikasının belirlenmesi ( $iqc(i,j)$ )



Şekil C.2: Ana program REALTIME için geliştirilmiş akış şeması

7.taşkın pikinin enküçülenmesi amaçlı ardışık yaklaşıklamalı dinamik programlama optimizasyon yöntemimi kullanan alt program TAŞKIN' a gönderilerek elde edilen optimal bırakım politikası (ıqc(i,j)) ile enerji enbüyüklenmesi amaçlı ardışık yaklaşıklamalı dinamik programlama optimizasyon yöntemimi kullanan alt program ENERJİ' ye gönderilerek elde edilen optimal bırakım politikasının (ıqc(i,j)) karşılaştırılması ve enerji üretimi bakımından büyük olanının seçilmesi

8. Karşılaştırma sonucu seçilen optimal bırakım politikasına bağlı olarak işletme politikalarının yenilenmesi

9. Yenilenen işletme politikasına bağlı olarak elde edilen bırakım verilerinin alt program KINDLG ile her bir baraj aksından diğerine akarsu yatağında ötelenerek taşınması ve  $j=2$  den itibaren kısa süreli taşkın hidrografi akım verileri üzerine diğer baraj aksında ilave edilmesi

10. Taşkın durumu ortadan kalkıncaya kadar bu süreç devam etmektedir.

### **C.1.1. Akımt (Alt Program)**

Havzadan gelen akımları kullanarak gelebilecek 6 adet saatlik akım verisini belirlemede kullanılan bir alt program olup, ana programın çalışması esnasında çağrılmaktadır. Akım verisi tahmini doğrusal olarak yapılmaktadır.

Bu alt programın yaptığı işlemler şunlardır:

#### 1. Verilerin okunması

$j$ -zamanda  $i$ -barajın havzasından gelen akım verileri ( $kjf(i,j)$  ve  $jfort(i)$ ) ana programdan bu programa gönderilmektedir.

2. Diğer barajların havzasından gelen akımlar saatlik ortalama akım kadar olması öngörülerek BAŞSEV, ENERJİ ve TAŞKIN alt programında kullanılacak akım matrisi oluşturulmalıdır. Yani  $i=1$  barajı için saatlik tahmini akımlar üretilirken,

$$JF(i,k)=jfort(i) \quad (i=2,3,..M \text{ ve } k=1,2,..6 \text{ saat})$$

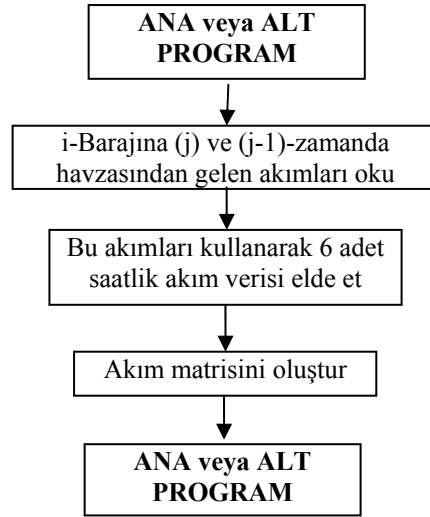
olacak şekilde alınmaktadır.

#### 2. Akımlar arasında doğrusal ilişki kurulması

$i$ -barajında ( $j$ ) ve ( $j-1$ ) zamanlı havzadan gelen akım verileri arasında doğrusal ilişki kurulmaktadır. Burada  $j=1$  olduğunda,  $j-1$  ifadesi sıfır olacağından, ( $j-1$ ) zamanlı

akım verisi ( $k_{jf}(i,j-1)$ ) yerine  $j_{fort}(i)$  alınmaktadır. Elde edilen akımlar, havzadan beklenen ortalama akım ( $j_{fort}(i)$ ) kadar olmalıdır.

3. Akım matrisinin oluşturularak ana programa geri dönülmektedir.



Şekil C.3: Alt program AKIMT için geliştirilmiş akış şeması

### C.1.2. Başsev (Alt Program)

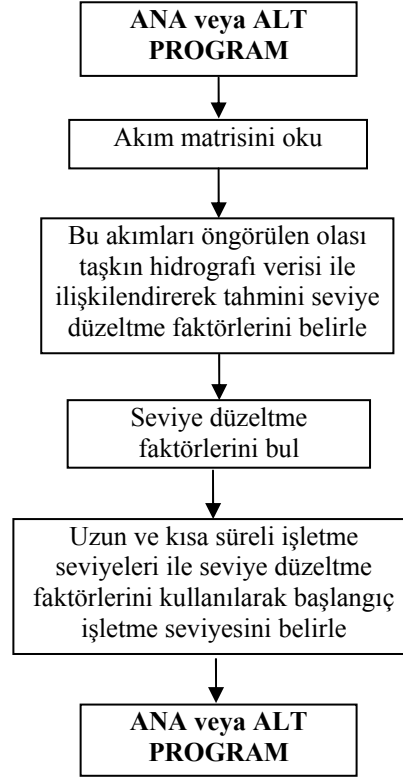
Gerçek zamanlı optimal işletme yaklaşımında, ilk olarak olası bir taşkın durumuna ait kısa süreli hidrograf verileri, uzun ve kısa süreli işletme politikaları ile bütünleştirilerek barajlarda anlık işletme için başlangıç seviyesi belirleyen bir alt programdır.

Bu alt programın yaptığı işlemler şunlardır:

#### 1. Verilerin okunması

- k-saatlik i-barajına ait tahmin akım değerleri ( $JF(i,k)$ ,  $i=1,2,..M$  ve  $k=1,2,..6$ )
- Kısa süreli işletmede taşkın durumunda elde edilen optimal işletme politikaları (TAŞKIN ile) ( $istas(i,j)$ ,  $j=1,2,..KM$ ,  $KM=720$  saat)

- Olası taşkın hidrografi akım verileri ( $tas(i,j)$ )
- Uzun süreli işletmede aylık ortalama akımlara elde edilen optimal işletme politikaları ( $IS(i,jj)$ ,  $jj=1,2,..KM$ ,  $KM=12$  ay)
- Her ay için havzadan gelen aylık ortalama akım ( $jfort(i)$ )



Şekil C.4: Alt program BAŞSEV için geliştirilmiş akış şeması

2. Tahmini akım verilerini olası taşkın hidrografi akım verilerine oranlayarak tahmini seviye düzeltme faktörünün belirlenmesi

i-barajında j-zamanı için AKIMT ile üretilen  $ixk$ -saatlik akım matrisinde, i-barajının  $k=2,3,..6$  ya kadar olan verileri j-zamanlı olası taşkın hidrografi akım verilerinin ilgili değerlerine oranlanarak tahmini seviye düzeltme katsayıları bulunmaktadır. Bu katsayıların aritmetik ortalaması, tahmini seviye düzeltme faktörünü vermektedir.

### 3. Seviye düzeltme faktörünün hesaplanması

i-barajında j-zamanı için AKİMT ile üretilen  $i_{xk}$ -saatlik akım matrisinde, i-barajının  $k=1$  akım verisi j-zamanlı olası taşkın hidrografi akım verilerinin ilgili verisine oranlanarak gerçek seviye düzeltme katsayısı bulunmaktadır. Buradan tahmini seviye düzeltme faktörü ile gerçek seviye düzeltme katsayısının aritmetik ortalaması, seviye düzeltme faktörünü vermektedir.

### 4. Bu faktör ile başlangıç işletme seviyesinin belirlenmesi

Uzun süreli işletmeye ait aylık normal işletme seviyesi ile kısa süreli işletmeye ait olası en büyük taşkın hidrografını öteleyen taşkın işletme seviyesinin ilk değeri arasındaki fark belirlendikten sonra, bu fark değeri ile seviye düzeltme faktörü çarpılmaktadır. Buradan elde edilen düzeltme miktarı, uzun süreli işletmeye ait optimal işletme seviyesinden düşülerek, sistemde taşkına neden olabilecek akım için başlangıç işletme seviyesi bulunmaktadır.

### 5. Son olarak, ana programa geri dönülmektedir

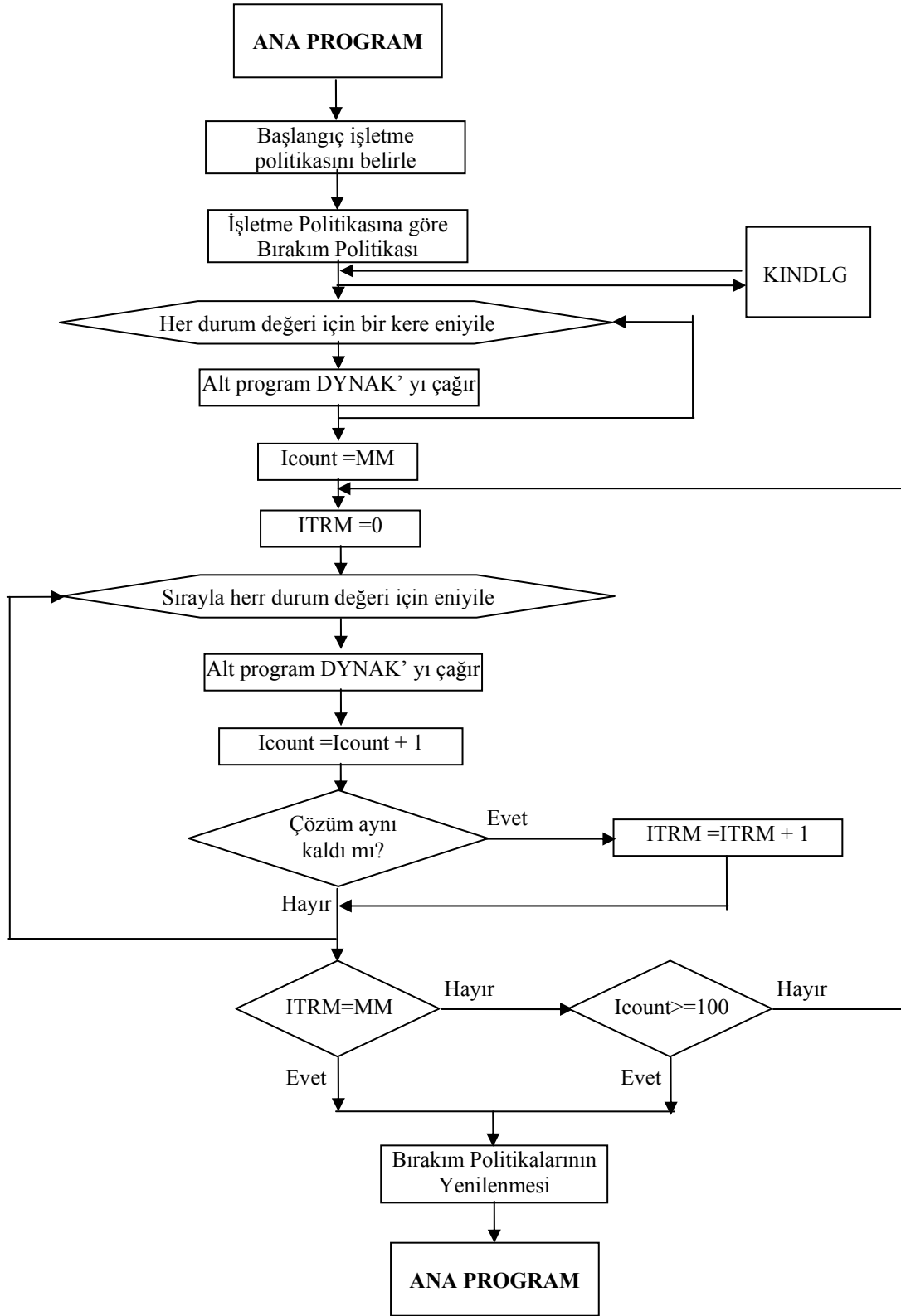
#### **C.1.3. Taşkın (Alt Program)**

Ana programın çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, ana programdan gelen verilerle taşkın enküçükleme amaçlı ardışık yaklaşmalı dinamik programlama yaklaşımı kullanarak optimal bırakım politikaları üreten bir yapısı bulunmaktadır. Bu alt programın yaptığı işlemler şunlardır:

#### 1. Ana programdan gelen verilerin okunması işlemi

- Baraj sayısı, (M)
- Dönem sayısı, (KM=k)
- Her bir barajdan bırakılabilecek maksimum su miktarlarının değerleri, (IQM)
- Her bir barağa ait maksimum ve minimum depolanan su seviyeleri, (IV, KV)

- Ana programda i-barajında j-zamanda havzasından gelen akıma göre AKIMT ile üretilen tahmini akımlar ( $JF(i,k)$ ,  $i=1,2,..M$  ve  $k=1,2,..6$  saat)



Şekil C.5: Alt program TAŞKIN için geliştirilmiş akış şeması



şeklinde olmaktadır.

2. Ana programdan gelen işletme seviyeleri başlangıç politikası olarak alınarak su bırakım miktarlarının hesaplanması işlemi

Su bırakım miktarları, her bir baraj için su dengesi ilişkisinden belirlenmektedir. İlk olarak, taşkın durumu için bırakılan toplam su miktarı,

$$IXQ(i,j)=JF(i,j)+isc(i,j)-isc(i,j+1) \quad (i=1,2,\dots,M \text{ ve } j=1,2,\dots,KM \text{ için})$$

şeklinde belirlenmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir.

3. Başlangıç politikası kullanılarak her bir durum göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için alt program TAŞKIN' dan alt program DYNAK' ya gidilmektedir. Alt program DYNAK ile ilgili açıklamalar Bölüm 3.1.4'de verilmektedir.

( $i=JS$ :durum değeri göstergesi,  $JS=1,2,\dots,M$ :Baraj sayısı)

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

Madde 4 de başlangıç politikası kullanılarak her bir durum göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için alt program TAŞKIN' dan alt program DYNAK' ya gidilmiştir. 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 IXQ bırakım değerleri,

IQS=IXQ

Şeklinde alınıp, çözüm neticesinde,

IXQ=IQS

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

ITRM=ITRM+1

olacaktır. Eşitlik devam etmiyorsa, yeni IXQ, IQS e eşitlenerek çözüm yineleneyecektir. 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 ulaşamadı" şeklinde ekrana yansımaktadır. Burada, başlangıç politikası ve seçilen ICOUNT değeri, çözüme ulaşmak için sistemin boyutu göz önüne alınarak dikkatle seçilmesi gerekmektedir.

5. Ana programa dönülmeden önce, taşkın durumuna bağlı olarak elde edilen optimal bırakım değerleri, enerji üretimi için bırakılacak en büyük akım ile karşılaştırılarak,

ne kadarının dolu savaktan savaklanacağı ve ne kadarının da enerji üretime ayrılacağı belirlenerek optimal bırakım politikaları yenilenmektedir. (iqc(i,k) değeri)

6. Son olarak, elde edilen yenilenmiş optimal bırakım politikaları ana programa gönderilmektedir.

#### **C.1.4. Dynatsk (Alt Program)**

Alt program TAŞKIN tarafından çağırılan bu alt program içerisinde her bir aşamaya ait durum ve karar değişkeni değerlerinin sırayla ele alınarak amaç fonksiyonunda değerlendirildiği bir programdır. DYNATSK alt programına bağlı diğer alt programlar, FEASTSK ve MFIRMTSK şeklindedir.

Burada, yapılan işlemler şunlardır:

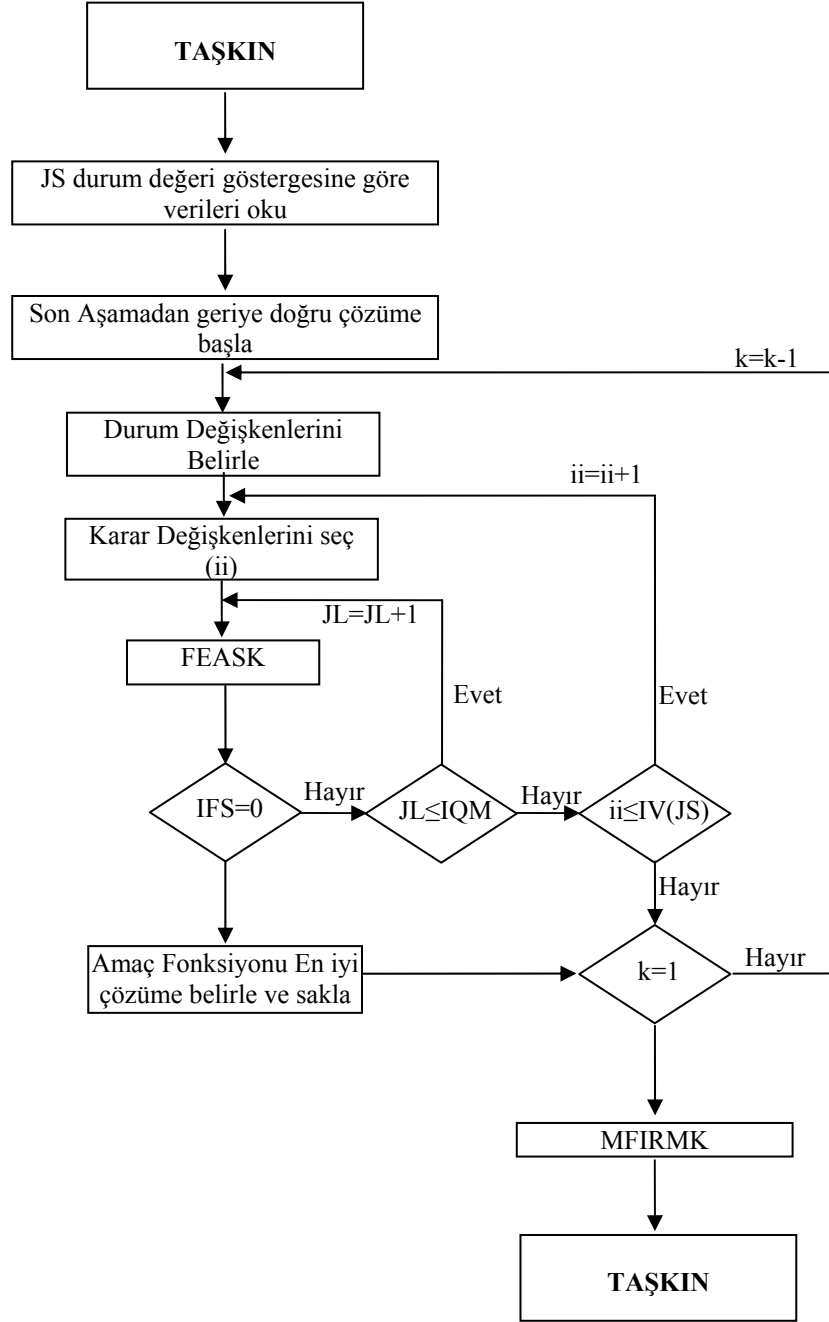
1.Son aşamadan başlanarak geriye doğru gidilmesi

2.Ana program TAŞKIN' dan 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 FEASTSK' e 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-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.



Şekil C.6: Alt program DYNATSK için geliştirilmiş akış şeması

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

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

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

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

3. FEASTSK tarafından DYNATSK' ya olurlu olarak gelen IXQ ve isc değerlerini kullanarak, ilk aşama faydası

$$SPIT(ii,JL)=SPIT(ii,JL)+IXQ(JS,k)$$

olarak hesaplanmakta ve bu değer,

$$SPIT(ii,JL)>IQM(JS)$$

şeklinde karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa,

$$SPIT(ii,JL)=0$$

kabul edilerek ikinci aşama faydası,  $i=1,2,\dots,M$  ye kadar toplanarak

$$SPIT(ii,JL)=SPIT(ii,JL)+IXQ(i,k) \quad (i=1,2,\dots,M)$$

olarak bulunmaktadır. Buradan elde edilen değer,

$$SPIT(ii,JL)<ID(ii,k)$$

ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa,

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

alınarak, bu değerler IC matrisi olarak saklanmaktadır.

Eğer bu karşılaştırmalardan biri sağlanmıyorsa, başka bir JL değerini seçilmekte, yeniden altprogram FEASTSK' e gidilmektedir. Ancak ii-durum değişkeni için

bütün karar değişkenleri denenmişse, o zaman JS' e ait yeni bir ii-durum değişkeni için JL-karar değerleri seçilerek işlemler yürütölmektedir.

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 sürdürölmektedir.

#### 4. Alt program DYNATSK' dan alt program MFIRTSMK' e gidilmesi

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

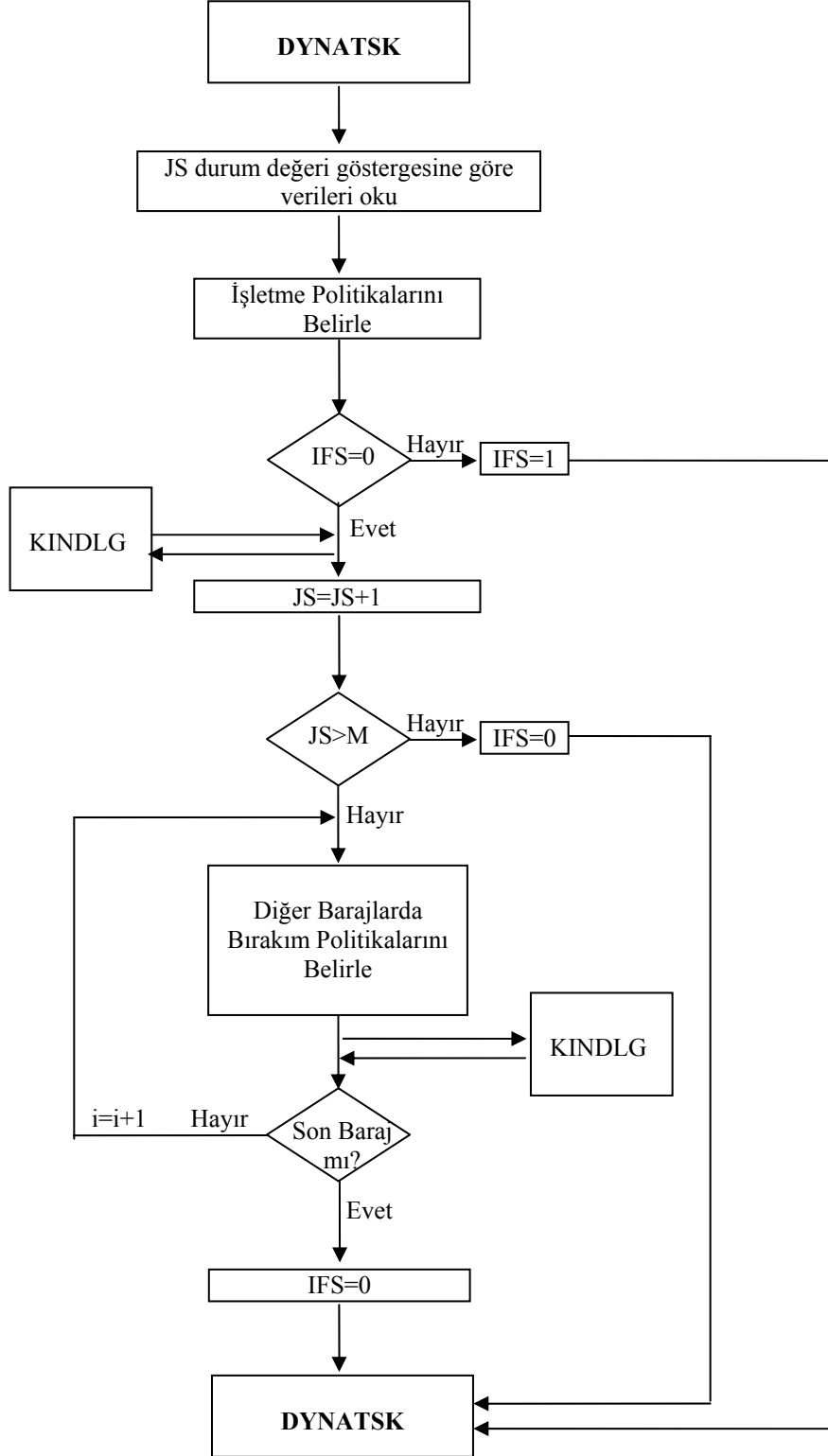
#### 5. Alt program TAŞKIN' a geri dönölmesi ile DYNATSK sonlandırılmaktadır.

### **C.1.5. Feastsk (Alt Program)**

FEASTSK, DYNATSK alt programının bir alt program olup, bu programda JS-durum değeri göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni ve JL-karar değişkeni ikilisinin(isc, IXQ) olurlu olup olmadığını belirlemek için çağrılan 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. Olurlu olup olmadığını göstergesi olarak IFS parametresi tanımlanmaktadır. Eğer bu ikili olurlu ise IFS=0, olursuz ise IFS=1 olarak seçilerek, bu durum DYNATSK' ya bildirilmektedir.

Bu alt programda yapılan işlemler şöyledir. JS-durum değeri göstergesi ile gönderilen durum değişkeni ve karar değişkenleri kullanılarak, JS' e karşılık gelen

barajda işletme seviyesi belirlenmekte ve bu değer kapasite değerleri ile karşılaştırılarak IFS göstergesinin alacağı değer belirlenmektedir. Yani, JS-durum değeri göstergesi ile gönderilen  $IXQ(JS,k)$  ve  $isc(JS,k)$  değerleri kullanılarak,



Şekil C.7: Alt program FEASTSK için genelleştirilmiş akış şeması

$$\text{isc}(\text{JS},k+1)=\text{JF}(\text{JS},k)+\text{isc}(\text{JS},k)-\text{IXQ}(\text{JS},k) \quad (\text{JS}=1,2,\dots,M \text{ için})$$

belirlenmekte, buradan elde edilen  $\text{isc}(\text{JS},k+1)$  değeri, ilk olarak, depolanan minimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$\text{isc}(\text{JS},k+1)<\text{KV}(\text{JS}) \text{ ise } \text{IFS}=1$$

elde edilmekte olup, alt program DYNATSK' ya dönülerek JS-durum değeri göstergesine ait aynı ii-durum değişkeni ile JL-karar değeri,  $\text{JL}=\text{JL}+1$  olarak seçilip, alt program FEASTSK' ya tekrar gelindikten sonra, bu ikili değerlerin olurlu olup olmaması irdelenmektedir. Eğer

$$\text{isc}(\text{JS},k+1)>\text{KV}(\text{JS})$$

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

$$\text{isc}(\text{JS},k+1)>\text{IV}(\text{JS}) \text{ ise}$$

$$\text{isc}(\text{JS},k+1)=\text{IV}(\text{JS}) \text{ ve}$$

$$\text{IXQ}(\text{JS},k)=\text{IXQ}(\text{JS},k)+\text{isc}(\text{JS},k+1)-\text{IV}(\text{JS})$$

değerleri elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Daha sonra, 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,

$$\text{IXQ}(i,k)=\text{JF}(i,k)+\text{isc}(i,k)-\text{isc}(i+1,k) \quad (i=2,3,\dots,M \text{ için})$$

olarak belirlenip, buradan, KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj



aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Bütün barajlar için bu değerler belirlendikten sonra, IFS=0 alınarak alt program DYNATSK' ya geri dönülmektedir.

#### **C.1.6. Mfirmtsk (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 MFIRMTSK' dir .

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

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

şeklinde olmakta, buradan ilk aşamadan başlanarak işletme politikaları,

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

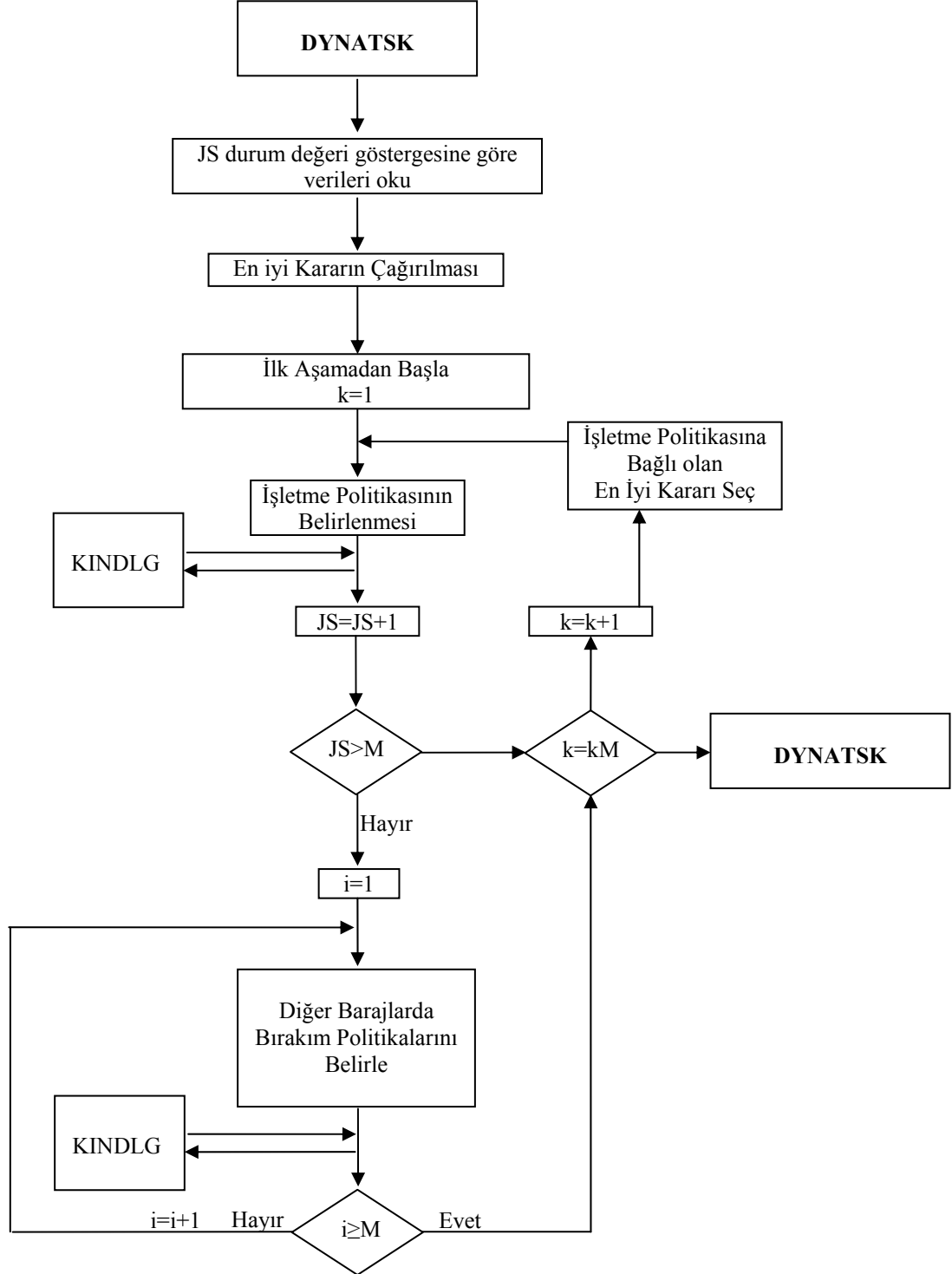
olarak ele alınmaktadır. Buradan elde edilen  $isc(JS,k+1)$  değeri, depolanan maksimum su miktarı ile karşılaştırılarak,

$$isc(JS,k+1)>IV(JS) \text{ ise}$$

$$isc(JS,k+1)=IV(JS) \text{ ve}$$

$$IXQ(JS,k)=IXQ(JS,k)+isc(JS,k+1)-IV(JS)$$

değerleri elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım



Şekil C.8: Alt program MFIRMTSK için geliştirilmiş akış şeması

miktarı üzerine ilave edilmektedir. Daha sonra diğer baraja geçmek için, 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, en iyi durum değişkeni sayısı

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

olarak belirlenmekte ve buna göre en iyi karar değişkeni çözümü

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

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,

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

olarak belirlenip, buradan, KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Daha sonra, ikinci aşamaya geçmeden önce, (k+1). aşama için, işletme seviyesine karşılık gelen en iyi durum değişkeni sırası,

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

olarak ve bu değere göre en iyi karar değişkeni çözümü

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

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.

### **C.1.7. Enerji (Alt Program)**

Ana programın çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, ana programdan gelen verilerle enerji enbüyüklenmesi amaçlı ardışık yaklaşmalı dinamik programlama yaklaşımı kullanarak optimal bırakım politikaları üreten bir yapısı bulunmaktadır.

Bu alt programın yaptığı işlemler şunlardır:

1. Ana programdan gelen verilerin okunması işlemi

- Baraj sayısı, (M)
- Dönem sayısı, (KM=k)
- Her bir barajdan bırakılabilecek maksimum su miktarlarının değerleri, (IQM)
- Her bir baraja ait maksimum ve minimum depolanan su seviyeleri, (IV, KV)
- Ana programda i-barajında j-zamanda havzasından gelen akıma göre AKİMT ile üretilen tahmini akımlar ( $JF(i,k)$ ,  $i=1,2,..M$  ve  $k=1,2,..6$  saat)

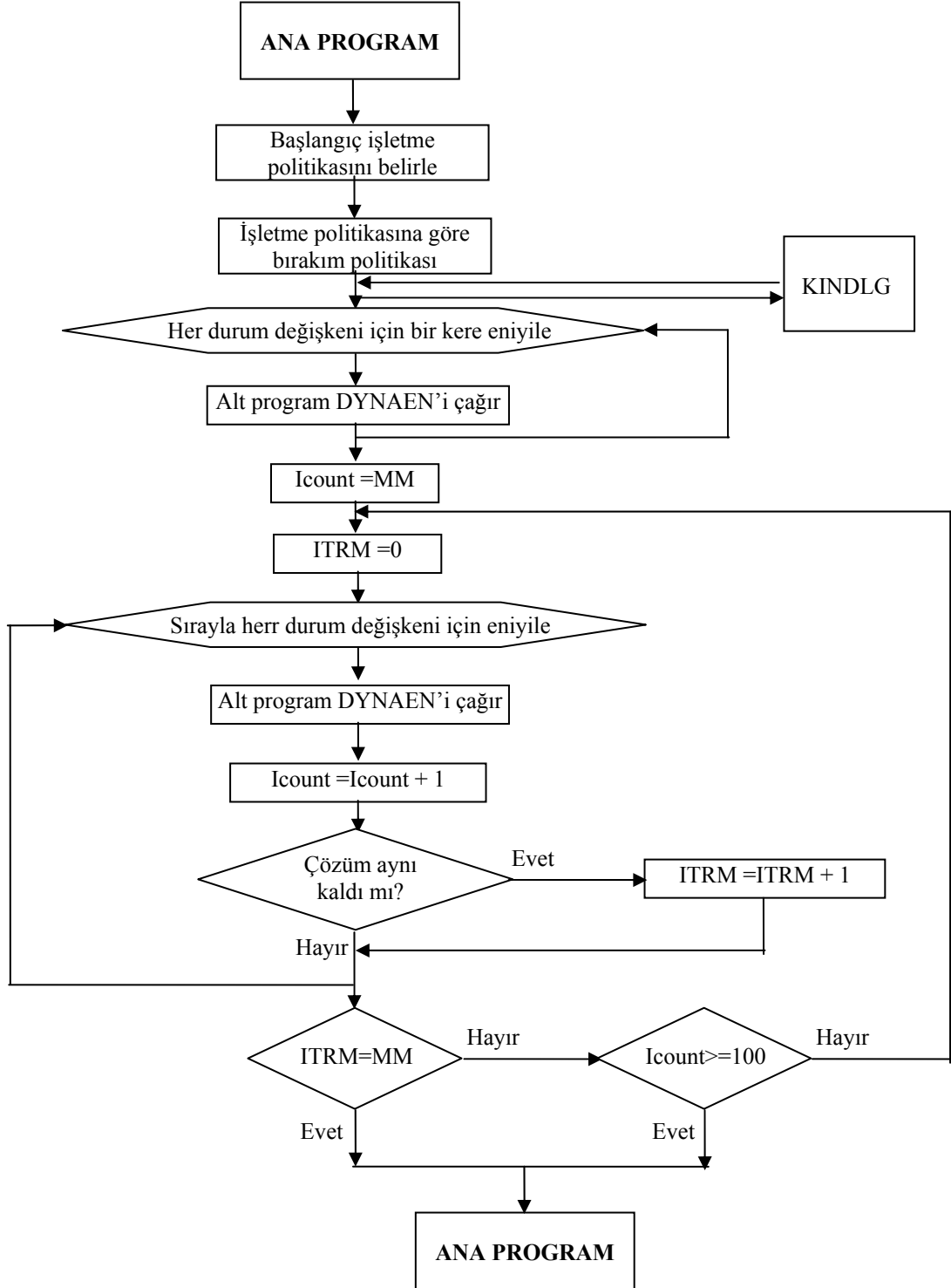
şeklinde olmaktadır.

2. Ana programdan gelen işletme seviyeleri başlangıç politikası olarak alınarak su bırakım miktarlarının hesaplanması işlemi

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

ire (i,j)=0

olmakta, aşağıdaki denklemde enerji üretimi için bırakılan su miktarı,



Şekil C.9: Alt program ENERJI için geliştirilmiş akış şeması

$$iqe(i,j)=JF(i,j)+ise(i,j)-ise(i,j+1) \quad (i=1,2,\dots,M \text{ için})$$

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

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

bu durumda buradaki fazla su miktarı dolu savaktan bırakılacak,

$$ire(i,j)=iqe(i,j)-IQM(i)$$

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

şeklinde olup, enerji için bırakılan maksimum su miktarını aşmıyorsa,

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

olarak başlangıçta öngörülen değer geçerli olacaktır. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir.

3. Başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için alt program ENERJI' den alt program DYNAEN' ya gidilmektedir. Alt program DYNAEN ile ilgili açıklamalar Bölüm 3.1.8' de verilmektedir.

(i=JS:durum değişkeni göstergesi, JS=1,2,...M:Baraj sayısı)

4. Her durum değişkeninde çözümün sabit kaldığı son çözümün üretilmesi işlemi

Madde 3' de başlangıç politikası kullanılarak her bir durum değeri göstergesinde en iyi çözümün belirlenmesi için alt program ENERJI' den alt program DYNAEN' ya gidilmiştir. 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 iqe-bırakım değerleri,

IQS=iqe

Şeklinde alınıp, çözüm neticesinde,

iqe=IQS

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

ITRM=ITRM+1

olacaktır. Eşitlik devam etmiyorsa, yeni iqe, IQS e eşitlenerek çözüm yinelenacaktır. 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 ulaşamadı" şeklinde ekrana yansımaktadır. Burada, başlangıç politikası

ve seçilen ICOUNT değeri, çözüme ulaşmak için sistemin boyutu göz önüne alınarak dikkatle seçilmesi gerekmektedir.

6. Son olarak elde edilen optimal bırakım politikaları ana programa gönderilmektedir.

### **C.1.8. Dynaen (Alt Program)**

Alt program ENERJİ tarafından çağırılan bu alt program içerisinde her bir aşamaya ait durum ve karar değişkeni değerlerinin sırayla ele alınarak amaç fonksiyonunda değerlendirildiği bir programdır. DYNAEN alt programa bağlı diğer alt programlar, FEASEN, MFIRMEN ve HDATEEN şeklindedir.

Burada, yapılan işlemler şunlardır:

1. Son aşamadan başlanarak geriye doğru gidilmesi

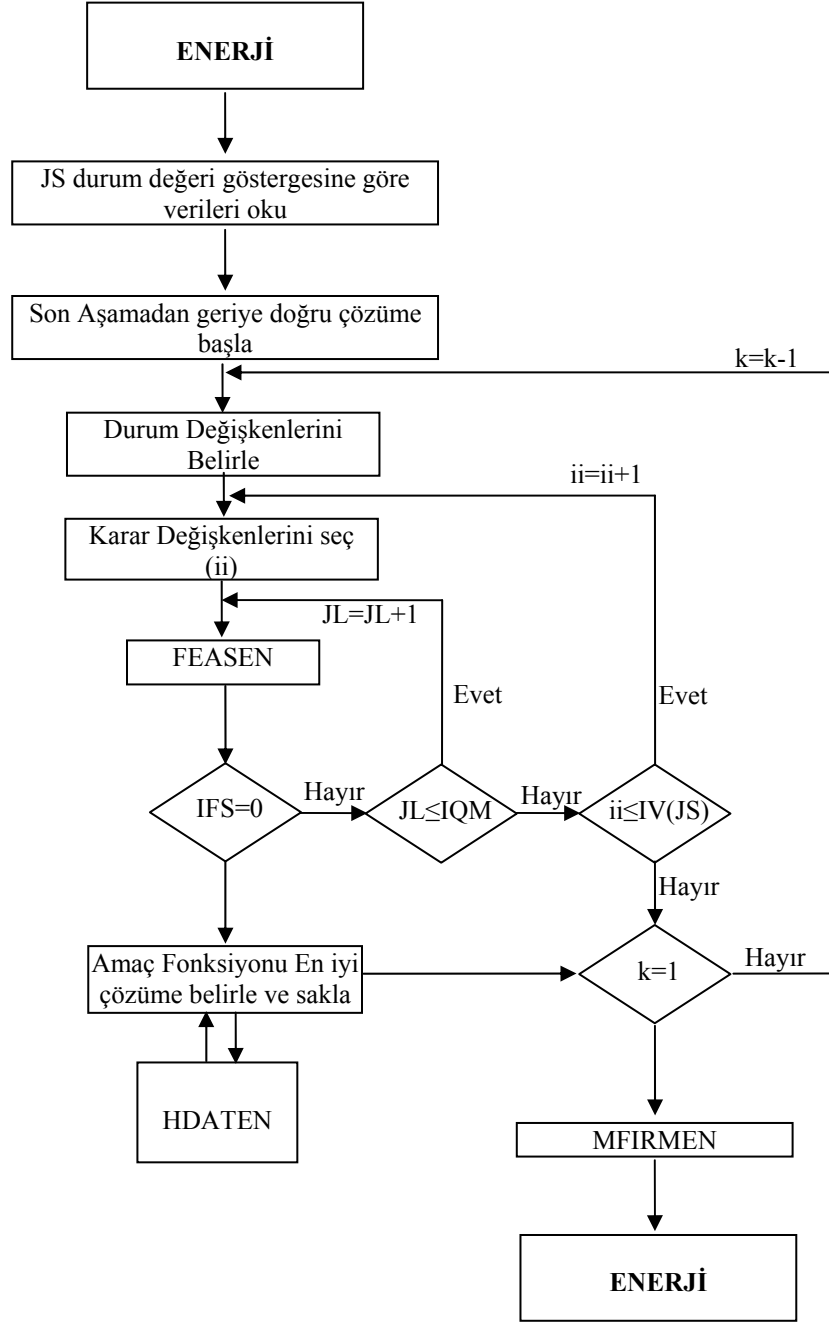
2. Ana programdan JS durum değeri göstergesi ile gönderilen değişkenler kullanılarak ve diğer durumlardaki değişkenlerin değeri sabit tutularak her bir ii-durum değişkeni için JL-karar değişkeni değerleri belirlenip alt program FEASEN' e olurlu olup olmadıkları belirlemek amacıyla gönderilmektedir. Burada ii-durum değişkeni değeri, JS' e karşılık gelen barajdaki minimum depolanan su miktarından maksimum depolanan su miktarına kadar değişmektedir. JL-karar değişkeni ise, JS-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.





Şekil C.10: Alt programın DYNAEN için genelleştirilmiş akış şeması

3. Herhangi bir  $ii$ -durum değişkenindeki  $JL$ -karar değişkeni ile seçilen ise ve  $iqe$  değerleri

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

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

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

3. HDATEN alt programı çağrılıp, buradan gelen güç katsayısı, (PK), enerji birim fiyatları (FF ve FS) yükseklik matrisi ile alt program FEASEN tarafından olurlu olarak gelen iqe ve ise değerlerini kullanarak, ilk olarak enerji üretilecek depolanmış su seviyesine göre,

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

olmakta ve bu değere göre, aşama faydası

$$SPIE(ii,JL)=PK*iqe(JS,k)*H(JS,isl)$$

olarak hesaplanmakta ve amaç fonksiyonu ortamında değerlendirilmektedir.

Amaç fonksiyonunda ise, aşama faydası güvenilir enerji

$$SPIE(ii,JL)>PGV$$

ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa, aşama faydası

$$SPIE(ii,JL)=((SPIE(ii,JL)-PGV)*FS+PGV*FF)+PI(IN,k+1);$$

olarak elde edilip ( $IN=IS(JS,k+1)-LS+1$ ), bu değer, öngörülen minimum aşama faydası ile

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

ile karşılaştırılmakta ve bunu sağlıyorsa,

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

olarak alınıp, saklanmaktadır. Eğer  $SPIE(ii,JL) < PGV$  ise ii-ye karşılık başka bir JL değerini seçilmekte, yeniden altprogram FEASU' e gidilmektedir. Ancak ii-durum değişkeni için bütün karar değişkenleri denenmişse, o zaman JS' e ait yeni bir ii-durum değişkeni için JL değerleri seçilerek işlemler yürütülmektedir.

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.

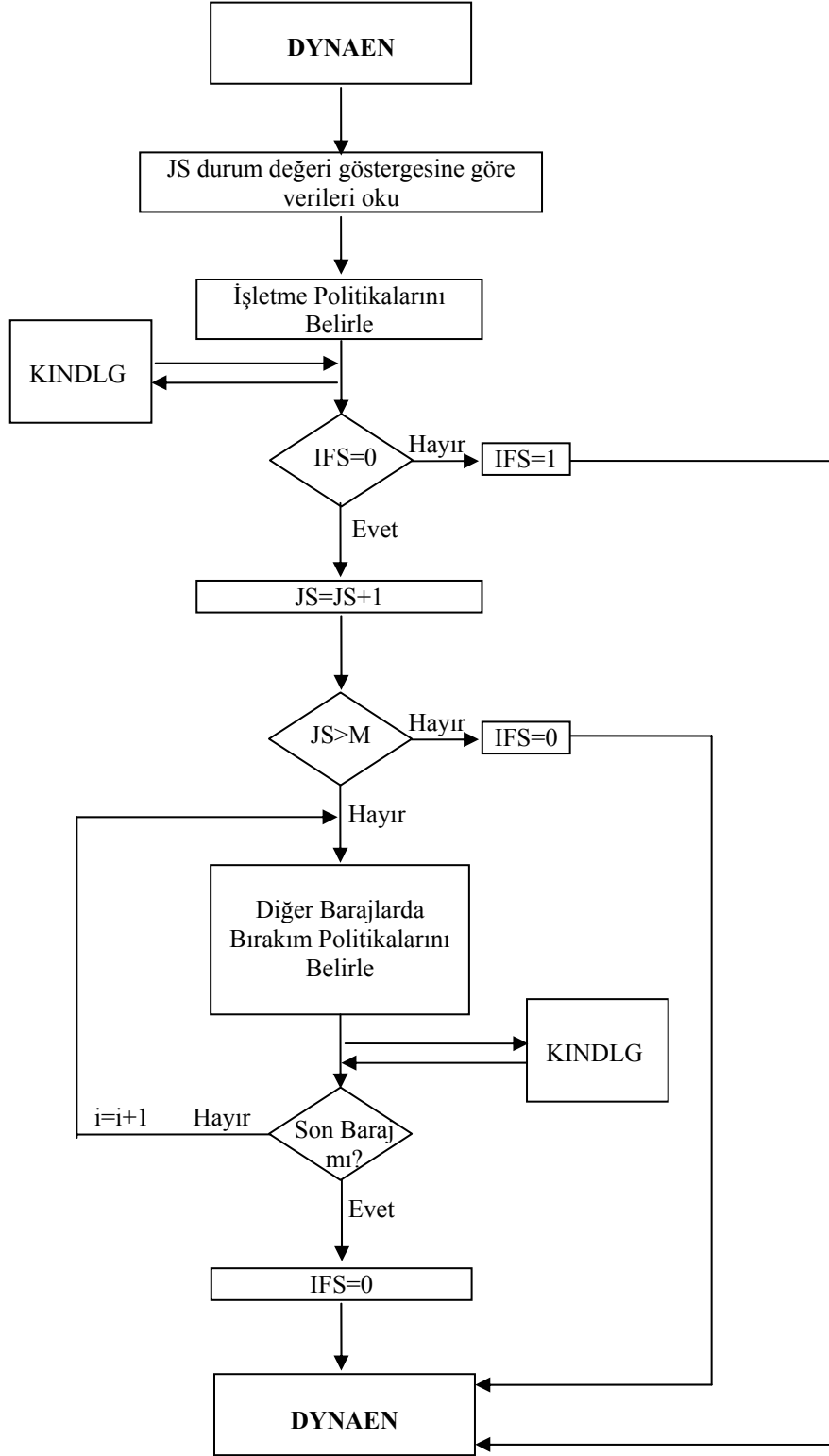
#### 4. Alt program DYNAEN' den alt program MFIRMEN' e gidilmesi

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 DYNAEN' den alt program MFIRMEN' e gidilmektedir. Burada ise, JS-durum değeri göstergesi altında oluşturulan eniyi çözümler arasından eniyisi seçilerek optimal işletme politikaları belirlenmektedir. Bununla ilgili ayrıntılara MFIRMEN alt programını anlatırken girilecektir.

5. Alt program ENERJI' ye geri dönülmesi ile alt program DYNAEN sonlandırılmaktadır.

### **C.1.9. Feasen (Alt Program)**

FEASEN, DYNAEN alt programının bir alt program olup, bu programda JS-durum değişkeni göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni ve JL-karar değişkeni ikilisinin(ise, iqe) olurlu olup olmadığını belirlemek için çağrılan 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. Olurlu olup olmadığını göstergesi olarak IFS parametresi tanımlanmaktadır. Eğer bu ikili olurlu ise  $IFS=0$ , olursuz ise  $IFS=1$  olarak seçilerek, bu durum alt program DYNAEN' e bildirilmektedir.



Şekil C.11: Alt programın FEASEN için genelleştirilmiş akış şeması

Bu alt programda yapılan işlemler şöyledir. JS-durum değeri göstergesi ile gönderilen durum değişkeni ve karar değişkenleri kullanılarak, JS-durum değeri

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  $iqe(JS,k)$  ve  $ise(JS,k)$  değerleri kullanılarak,

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

$$ise(JS,k+1)=JF(JS,k)+ise(JS,k)-iqe(JS,k) \quad (JS=1,2,\dots,M \text{ için})$$

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

$$ise(JS,k+1) < KV(JS) \text{ ise}$$

$$IFS=1$$

olarak alınmaktadır. Buradan, alt program DYNAEN' e dönülerek JS-durum değeri göstergesine ait aynı ii-durum değişkeni ile farklı JL-karar değeri,  $JL=JL+1$  alınarak seçilip, alt program FEASEN' e tekrar gelindikten sonra, bu ikili değerlerin olurlu olup olmaması irdelenmektedir. Eğer

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

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

$$ise(JS,k+1) > IV(JS) \text{ ise}$$

$$ise(JS,k+1) = IV(JS) \text{ ve}$$

$$ire(JS,k) = ise(JS,k+1) - IV(JS)$$

değerleri elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Daha sonra, 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,

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

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

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

$$iqe(i,k)>IQM(i) \text{ ise}$$

$$ire(i,k)=iqe(i,k)-IQM(i) \text{ ve}$$

$$iqe(i,k)=IQM(i)$$

olarak elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Son baraja kadar değerler belirlendikten sonra, IFS=0 alınarak alt program DYNAEN' ya geri dönülmektedir.

#### **C.1.10. Mfirmen (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 MFIRMEN' dir .

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

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

şeklinde olmakta, buradan ilk aşamadan başlanarak işletme politikaları,

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

$$ise(JS,k+1)=JF(JS,k)+ise(JS,k)-iqe(JS,k) \quad (JS=1,2,\dots,M \text{ ve } k=1 \text{ için})$$

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

$$ise(JS,k+1) > IV(JS) \text{ ise}$$

$$ise(JS,k+1) = IV(JS) \text{ ve}$$

$$ire(JS,k) = ise(JS,k+1) - IV(JS)$$

değerleri elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Burada elde edilen  $ise(JS,k+1)$  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,

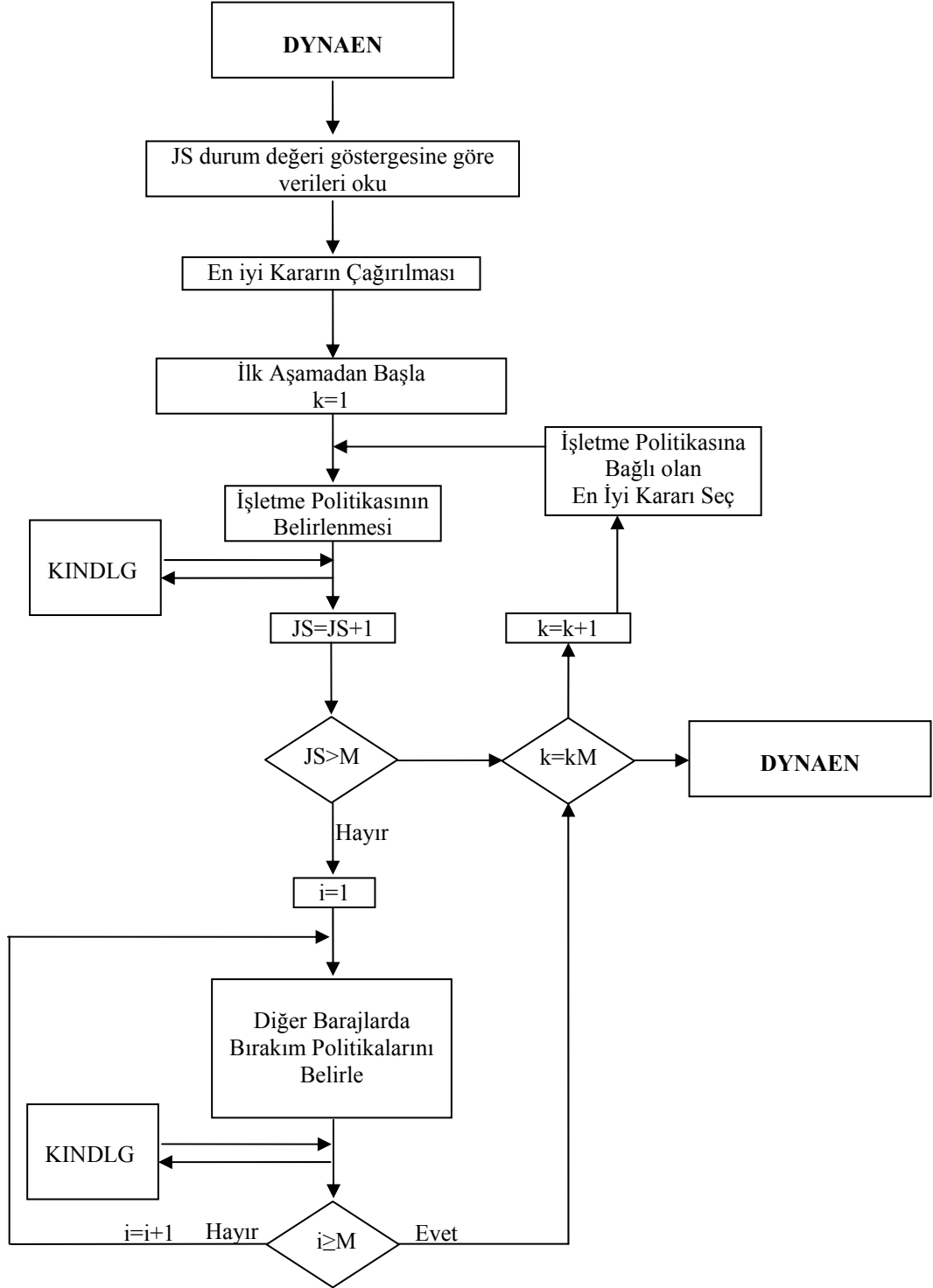
$$kx = ise(JS,k+1) - LS + 1$$

olarak belirlenmekte ve buna göre en iyi karar değişkeni çözümü

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

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

$$JS < M$$



Şekil C.12: Alt program MFIRMEN için geliştirilmiş akış şeması

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,

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

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

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

$$iqe(i,k) > IQM(i) \text{ ise}$$

$$ire(i,k) = iqe(i,k) - IQM(i) \text{ ve}$$

$$iqe(i,k) = IQM(i)$$

olarak elde edilmektedir. Buradan KINDLG isimli akarsu yatağında taşkın öteleme amaçlı alt programa gidilmekte ve barajdan bırakılan akımlar bu alt program ile diğer baraj aksına ötelenerek taşınmakta ve diğer barajın havzasından gelen akım miktarı üzerine ilave edilmektedir. Son baraja kadar süren bu işlemlerden sonra, ikinci aşamaya geçmeden önce,  $(k+1)$ . aşama için, en iyi durum değişkeni sırası

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

olarak ve bu değere göre en iyi karar değişkeni çözümü

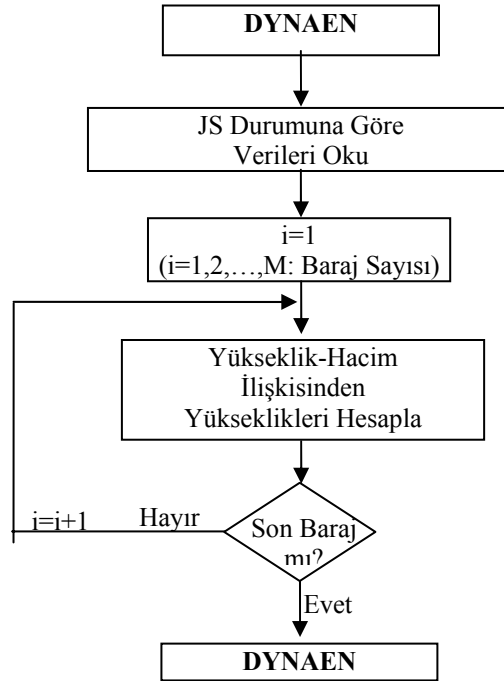
$$iqe(JS, k+1) = IC(kx, k+1)$$

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.

### C.1.11. Hdaten (Alt Program)

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

Bu programda yapılan işlemler şu şekildedir. DYNAEN alt programında amaç fonksiyonu ile ilgili aşama faydasını belirlendiği yerde, JS-durum değeri göstergesine karşılık olan barajda herhangi bir ii-durum değişkenine ait depolanan su miktarına göre (JS)x(ii) boyutunda yükseklik matrisinin oluşturulması için alt program HDATEN' e 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 DYNAEN' e geri dönülmektedir.



Şekil C.13: Alt program HDATEN için geliştirilmiş akış şeması

Şekil C.1: Gerçek zamanlı işletme modeli için bilgisayar programının yapısı.....	173
Şekil C.2: Ana program REALTIME için geliştirilmiş akış şeması .....	178
Şekil C.3: Alt program AKIMT için geliştirilmiş akış şeması .....	180
Şekil C.4: Alt program BAŞSEV için geliştirilmiş akış şeması.....	181
Şekil C.5: Alt program TAŞKIN için geliştirilmiş akış şeması .....	183
Şekil C.6: Alt program DYNATSK için geliştirilmiş akış şeması.....	187
Şekil C.7: Alt program FEASTSK için geliştirilmiş akış şeması.....	190
Şekil C.8: Alt program MFIRMTSK için geliştirilmiş akış şeması .....	193
Şekil C.9: Alt program ENERJI için geliştirilmiş akış şeması.....	196
Şekil C.10: Alt programın DYNAEN için geliştirilmiş akış şeması .....	200
Şekil C.11: Alt programın FEASEN için geliştirilmiş akış şeması.....	203
Şekil C.12: Alt program MFIRMEN için geliştirilmiş akış şeması .....	207
Şekil C.13: Alt program HDATEN için geliştirilmiş akış şeması.....	209

## **EK D (BENZETİM MODELİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI)**

Çok amaçlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminde, gerçek zamanlı işletme mantığından elde edilecek sonuçları değerlendirmek amacıyla, bir benzetim modeline ihtiyaç duyulmakta olup, bu modele ait program yapısında, uzun ve kısa süreli işletme modelinden elde edilen işletme seviyeleri ve akımların baraj aksına taşınmasında kullanılan akarsu yatağında taşkın ötelemesi yaklaşımı bulunmaktadır.

Uzun süreli planlamada sisteme giren veriler aylık ortalama akımlar olup elde edilen işletme seviyeleri aylık normal işletme seviyeleridir. Kritik dönemde (kurak periyot) ise, sisteme giren veriler kritik döneme ait aylık ortalama akım olup, bunun sonucu olarak aylık minimum işletme seviyeleri elde edilmektedir. Elde edilen optimal işletme seviyeleri programa girdi olarak kullanılmaktadır.

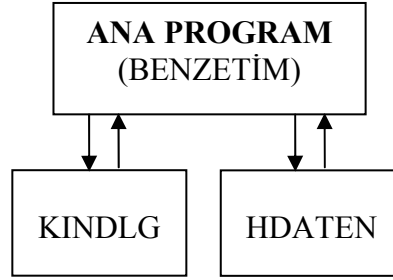
Benzetim modeli ile yapılan işletme, her bir barajda uzun ve kısa süreli planlamada elde edilen optimal işletme seviyeleri ile aylık ortalama akıma göre belirlenen işletme seviyesi arasında kurulan ilişki ile düzenlenen işletme seviyelerine ve bu seviyeleri etkileyen kapasite kısıtlarına bağlıdır.

Benzetim modelinde, sisteme gelen akımlar düzenlenmiş optimal aylık normal işletme seviyesinde karşılanmalı, sistemden bırakılacak su miktarı en az güvenilir enerjiyi sağlayacak kadar olmalı, güvenilir enerji sağlanmıyorsa sağlanıncaya kadar düzenlenmiş optimal aylık normal işletme seviyesinden düşülmeli, inilebilecek en düşük seviye ise, kritik döneme ait optimal işletme seviyesi kadar olmalı, yine de güvenilir enerji sağlanmıyorsa, enerji açık miktarı bulunmalıdır. Bırakılan akım miktarları diğer baraj aksına taşınırken akarsu yatağında seyahatleri esnasında yatak boyunca ötelenerek taşınmaktadır. Buradan, diğer baraj aksına ulaşan akımlar, havzadan gelen akımlar üzerine ilave edilmektedir. Benzetim işletme zamanı boyunca her bir barajda bu süreç öngörülmektedir. Böylelikle öngörülen bir işletme

zamanına göre yapılan işletme neticesinde düzenlenmiş aylık işletme seviyeleri etrafında oluşan işletme seviyeleri belirlenmektedir.

Burada modelde öngörülen amaca uygun olarak program, C tabanlı MATLAB ortamında hazırlanmıştır. Program, boyutların uygun şekilde ayarlanmasıyla, birbirine seri olarak bağlı ve istenen sayıda enerji enbüyüklenme ve taşkın enküçüklenme amaçlı depolamalı barajın oluşturduğu su kaynakları sistemine kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Bilgisayar programı, bir ana program ve iki alt programdan oluşmaktadır. Programın yapısı ve ana programla alt programın birbiri ile ilişkileri Şekil 9.1' de verilmiştir.



Şekil D.1: Benzetim modeli için bilgisayar programının yapısı

Ana programda ve alt programlarda kullanılan değişkenler aşağıda verildiği gibidir.

M :Baraj sayısı

KMM :Benzetim modeline göre işletmede dönem sayısı (saat)

PK :Güç katsayısı

PGV :Hidroelektrik sistemin sağlanması istenilen en küçük güç (güvenilir güç)

KV(i) :i-barajında minimum depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IV(i) :i-barajında maksimum depolanan su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

IQM(i) :i-barajından enerji için bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

RM(i) :i-barajından dolu savaktan bırakılabilecek maksimum su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

HT(i,j) :i-barajında  $j \times 10^6 \text{ m}^3$  depolanan su miktarına karşılık gelen su yüksekliği (m)

JFB(i,j):i-barajına j-zamandaki havzasından gelen su miktarı ( $10^6 \text{ m}^3$ )

$is(i,j)$  :i-barajında j-zamandaki depolanan su miktarı ( $10^6 m^3$ )

$isb(i,j)$  :i-barajında j-zamandaki kısa ve uzun süreli optimizasyon işletmesine göre düzenlenen su seviyesi ( $10^6 m^3$ )

$iqb(i,j)$ :i-barajında j-zamanda enerji üretimi için bırakılan su miktarı ( $10^6 m^3$ )

$irb(i,j)$ :i-barajında j-zamanda dolu savaktan bırakılan su miktarı ( $10^6 m^3$ )

#### **D.1. Benzetim (Ana Program)**

Benzetim modeline ait programda, ilk olarak, uzun ve kısa süreli işletme modellerinde elde edilen optimal işletme politikaları aylık ortalama akımın üzerinde geleceği öngörülen akım göz önüne alınarak yenilenmektedir. Daha sonra, bu şekilde düzenlenmiş işletme politikaları, programda başlangıç politikası olarak seçilmektedir. Buradan sisteme gelen akımlar düzenlenmiş işletme seviyesinde karşılanmakta, sistemden bırakılacak su miktarı en az güvenilir enerjiyi sağlayacak kadar olmakta, güvenilir enerji sağlanmıyorsa sağlanıncaya kadar düzenlenmiş işletme seviyesinden düşülmekte, inilebilecek en düşük seviye ise, kritik döneme ait optimal işletme seviyesi kadar olmakta, yine de güvenilir enerji sağlanmıyorsa, enerji açık miktarı bulunmakta olup, bırakılan akım miktarları diğer baraj aksına taşınırken akarsu yatağında seyahatleri esnasında yatak boyunca ötelenerek taşınmaktadır. Diğer baraj aksına taşınan akımlar, havzadan gelen akımlar üzerine ilave edilmektedir. Benzetim işletme zamanı boyunca her bir barajda bu süreç öngörülmektedir.

Burada ana programın yaptığı işlemler şunlardır:

##### 1. Verilerin okunması işlemi

- Baraj sayısı (M)
- Dönem sayısı (KM=720 saat)
- Her i-barajından enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarı IQM(i) (i=1,2,3....M)

- Her  $i$ -barajından dolu savaktan bırakılacak maksimum su miktarı  $IRM(i)$  ( $i=1,2,3,\dots,M$ )
- Her  $i$ -barajında maksimum su seviyesi ( $IV(i)$ )
- Her  $i$ -barajında minimum su seviyesi ( $KV(i)$ )
- Her  $i$ -barajına havzasından  $j$ -zamanda gelen saatlik su miktarı ( $kjf(i,j)$ )
- Her  $i$ -barajında  $j$ -zamanda önceden düzenlenmiş işletme seviyesi ( $isd(i,j)$ )
- Her  $i$ -barajındaki söz konusu ay için ortalama akım miktarı ( $jfort(i)$ )

şeklinde olmaktadır.

2. Uzun ve kısa süreli işletme modellerinde elde edilen optimal işletme politikaları aylık ortalama akımın üzerinde geleceği öngörülen akım göz önüne alınarak yenilenmektedir. Burada, aylık ortalama akım üzerinde gelebilecek akımın miktarı belirlenip, bu miktar öncelikle, taşkın akımının ilk olarak karşılaştığı barajdaki optimal aylık işletme seviyesinden düşülmektedir. Eğer ilk barajın minimum işletme seviye kapasitesinin altına iniliyorsa, diğer barajlara geçilmektedir.

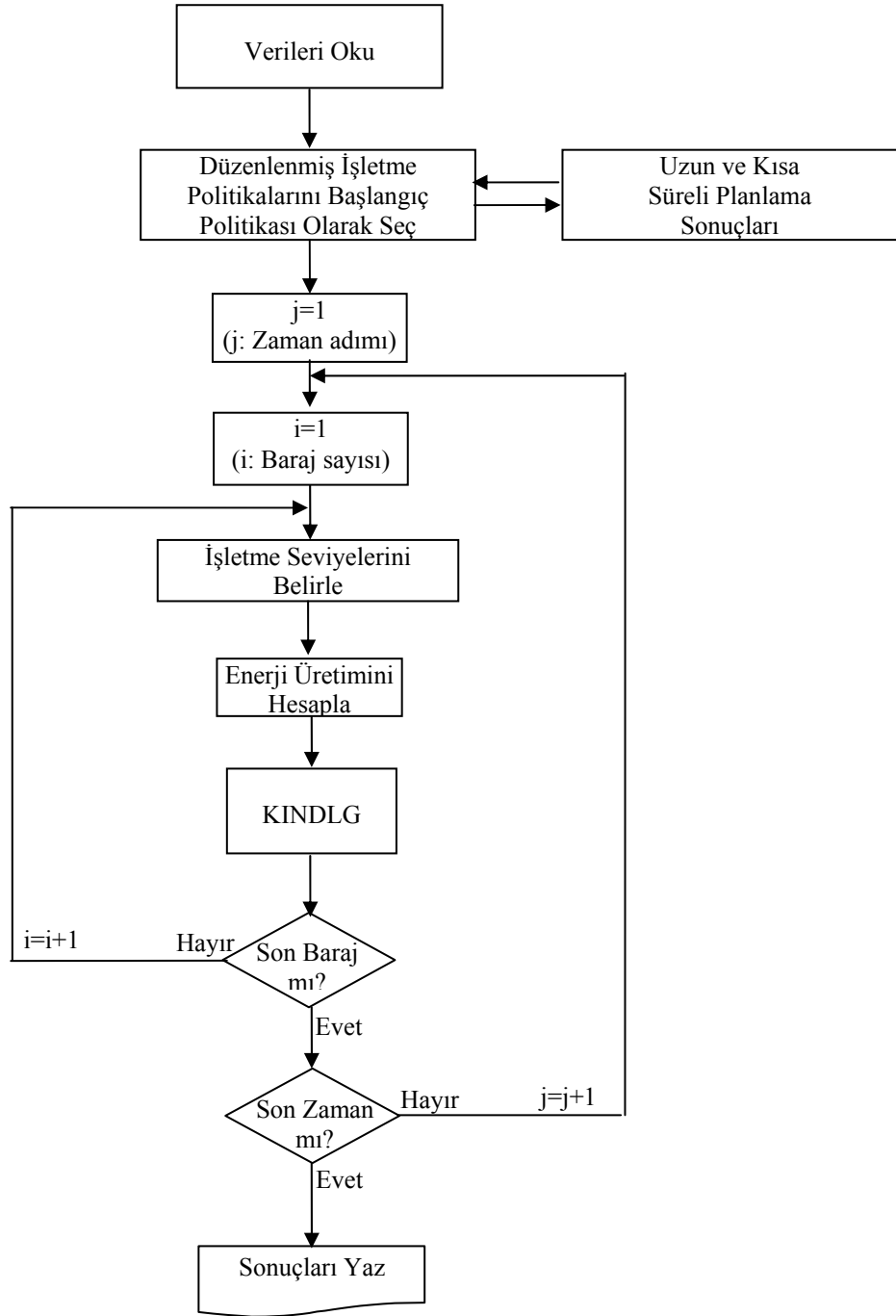
3. Yukarıdaki şekilde düzenlenmiş işletme politikaları, programda başlangıç politikası olarak seçilmektedir. Burada, her bir barajdaki başlangıç işletme seviyesi gelecek akıma göre belirlenmektedir. Ancak her bir barajda işletme zamanı sonundaki seviyeler aylık normal işletme seviyesi kadar olması gerekmektedir. Bunun için başlangıç seviyesi ile ay sonundaki aylık normal işletme seviyesi arasındaki seviyeler enterpolasyon ile belirlenmektedir. Buradan, işletme seviyeleri,

$$is(i,j)=isd(i,j), \text{ (her } i \text{ ve } j \text{ için)}$$

şeklinde olmaktadır.

4. Sisteme gelen akımlar düzenlenmiş işletme seviyesinde karşılanmakta, sistemden bırakılacak su miktarı en az güvenilir enerjiyi sağlayacak kadar olmakta, güvenilir enerji sağlanmıyorsa sağlanıncaya kadar düzenlenmiş işletme seviyesinden düşülmekte, inilebilecek en düşük seviye ise, kritik döneme ait optimal işletme

seviyesi kadar olmakta, yine de güvenilir enerji sağlanmıyorsa, enerji açık miktarı bulunmaktadır. Burada veriler  $10^6 \text{ m}^3$  olarak alındığında, Ceyhan Havzası'nda çok



Şekil D.2: Ana program BENZETİM için geliştirilmiş akış şeması

barajlı su kaynakları sisteminde IQM(i) değeri yaklaşık 1 olduğu için, güvenilir enerji elde edilinceye kadar bırakılması gereken su miktarı sayısal değer olarak  $1.10^6$



$m^3$  olup, güvenilir enerjiyi sağlamak için IQM' yi bir döngüye gerek kalmamaktadır. Buradan, i-barajına j-zamanda gelen akım işletme seviyesi üzerine ilave edilmektedir. O zaman işletme seviyesi,

$$is(i,j)=is(i,j)+k_jf(i,j)$$

şeklinde olmaktadır. Elde edilen işletme seviyesi, bir sonraki zamana ait düzenlenmiş işletme seviyesi ile karşılaştırılarak,

$$is(i,j)>isd(i,j+1) \text{ ise}$$

barajdan bırakım miktarları bulunmaktadır. Bırakım miktarları,

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

$$iq(i,j)=is(i,j)-isd(i,j+1)$$

buradan enerji için bırakılması öngörülen miktar, enerji için bırakılacak maksimum miktar ile karşılaştırılarak,

$$iq(i,j)>IQM(i) \text{ ise}$$

$$ir(i,j)=iq(i,j)-IQM(i)$$

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

şeklinde bırakım miktarlarının değerleri yenilenmektedir.

Eğer havzadan gelen akımı işletme seviyesi üzerine ilave ederek elde edilen işletme seviyesi, bir sonraki zamana ait düzenlenmiş işletme seviyesi ile karşılaştırıldığında,

$$is(i,j)<isd(i,j+1)$$

şeklinde ise, o zaman bırakım miktarı,

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

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

olarak alınıp, işletme seviyesi,

$$is(i,j)=is(i,j)-IQM(i)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Eğer havzadan gelen akımı işletme seviyesi üzerine ilave ederek elde edilen işletme seviyesi, bir sonraki zamana ait düzenlenmiş işletme seviyesi ile karşılaştırıldığında, minimum işletme seviyesinden küçükse, yani,

$$is(i,j)<KV(i)$$

şeklinde ise, o zaman bırakım miktarları,

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

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

şeklinde alınmaktadır.

Elde edilen bırakım miktarları ile HDATEN alt programından gelen yükseklik değerlerini kullanılarak güvenilir enerji veya enerji açık miktarı bulunmaktadır.

5. Bırakılan akım miktarları diğer baraj aksına taşınırken akarsu yatağında seyhatleri esnasında yatak boyunca ötelenerek taşınmaktadır. Diğer baraj aksına taşınan akımlar, havzadan gelen akımlar üzerine ilave edilmektedir. Burada bırakılan akımlar, dolu savak ve enerji üretim için su bırakma kapasitelerinin oluşturduğu toplam bırakma kapasite ile karşılaştırıldığında, bu kapasiteden küçük ise, bırakım miktarı olduğu gibi bırakılmakta, değilse, öngörülen bir hidrograf şeklinde bırakılmaktadır.

6. Öngörülen işletme zamanı sonuna kadar her bir barajda bu süreç öngörülmektedir. Buradan sonuçların düzenlenmesine geçilmektedir.

Şekil D.1: Benzetim modeli için bilgisayar programının yapısı .....	211
Şekil D.2: Ana program BENZETİM için geliştirilmiş akış şeması .....	214

## ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Sivas'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini, sırasıyla, Recep Handan İlkokulu, Behrampaşa Ortaokulu ve Sivas Lisesi'nde tamamladı. 1996 yılında Konya, Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1996 yılında, Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1999 yılında, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yapı Programı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2001 yılında, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Programı'nda Su kaynakları planlama ve yönetimi üzerine Doktora'ya başladı. 2002 yılında evlendi ve bir çocuk babası olup, halen Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.