

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

EFSUN BACAKSIZ

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

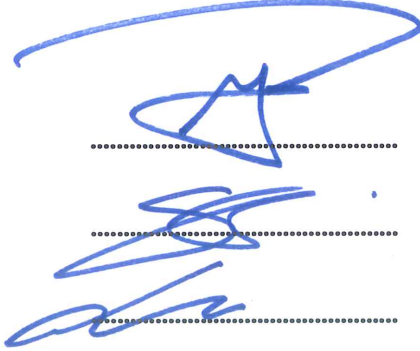
**YEŞİLİRMAK HAVZASINDA BULUNAN ÇOK BARAJLI BİR
SU KAYNAKLARI SİSTEMİNDE OPTİMAL ENERJİ ÜRETİMİ**

EF SUN BACA KSIZ

Doç.Dr. Mücahit OPAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. Safa Bozkurt COŞKUN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. Emrah DOĞAN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 14.05.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, çok amaçlı ve çok barajlı sistemlerde enerji üretiminin uzun süreli optimal işletilmesi üzerinedir. Burada yapılan işletme çalışmasında 3 senaryo oluşturulmuştur. Kurak dönem akımlarıyla güvenilir güç enbüyüklenmeye çalışılmış, elde edilen güvenilir güç sistemde kısıt olarak kullanılıp toplam enerjinin enbüyüklenmesi amaçlanmıştır.

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

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

Nisan-2018

Efsun BACAKSIZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLOLAR DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
GİRİŞ	1
1. ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE UZUN SÜRELİ PLANLAMA	3
1.1. Uzun Süreli Planlama İçin İşletme Optimizasyonu.....	3
1.2. Uygulama Amaçlı Olarak Yeşilirmak Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi.....	4
2. SU KAYNAKLARINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU	5
2.1. Giriş	5
2.2. Dinamik Programlama	6
3. ÇOK BARAJLI SİSTEMİN TANIMLANMASI VE MODELLENMESİ	13
3.1. Sistemin Tanımlanması	13
3.2. Uzun Süreli Planlama için İşletme Optimizasyonu Modeli	18
4. YEŞİLIRMAK HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ	19
4.1. Giriş	19
4.2. Yükseklik- Hacim İlişkileri	25
4.3. Barajlara Gelen Akımlar.....	28
5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	38
5.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar.....	38
5.1.1. Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modele giren veriler	38
5.1.2. Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler	39
5.1.3. Toplam enerjinin en büyüklenmesinde modele giren veriler.....	61
5.1.4. Toplam enerjinin en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler	62
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85
EKLER.....	88
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	106
ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci.....	4
Şekil 2.1. Dinamik programlamada aşamalar arası ilişkinin şematik gösterimi	7
Şekil 2.2. Dinamik programlamada herhangi bir aşamasındaki durum değeri ve durum-karar değişkeninin şematik gösterimi	9
Şekil 3.1. Birbirine seri ve paralel bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü	13
Şekil 3.2. Modeldeki ana ve tali kol üzerindeki barajlar.....	14
Şekil 3.3. Herhangi bir i-barajında t-zamanına ait işletilmesi ile ilgili değişkenleri	14
Şekil 4.1. Yeşilırmak Havza'sının şematik görünüşü	20
Şekil 4.2. Yeşilırmak Havzası'nda Yeşilırmak Nehri ana ve tali kolları üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü	21
Şekil 4.3. Gölova Barajı'nın görüntüsü.....	22
Şekil 4.4. Kılıçkaya Barajı'nın görüntüsü.....	23
Şekil 4.5. Çamlıgöze Barajı'nın görüntüsü	23
Şekil 4.6. Almus Barajı'nın görüntüsü.....	24
Şekil 4.7. Ataköy Barajı'nın görüntüsü.....	24
Şekil 4.8. Hasan Uğurlu Barajı'nın görüntüsü	25
Şekil 4.9. Suat Uğurlu Barajı'nın görüntüsü.....	25
Şekil 4.10. Gölova Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	26
Şekil 4.11. Kılıçkaya Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	26
Şekil 4.12. Çamlıgöze Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	27
Şekil 4.13. Almus Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	27
Şekil 4.14. Hasan Uğurlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri	28
Şekil 4.15. Suat Uğurlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri.....	28
Şekil 4.16. Gölova Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ($10^6 m^3$)	29
Şekil 4.17. Kılıçkaya Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ($10^6 m^3$)	30
Şekil 4.18. Çamlıgöze Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ($10^6 m^3$)	31
Şekil 4.19. Almus Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ($10^6 m^3$)	32
Şekil 4.20. Ataköy Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ($10^6 m^3$)	33

Şekil 4.21. Hasan Uğurlu Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10^6 m^3)	34
Şekil 4.22. Suat Uğurlu Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10^6 m^3)	35
Şekil 4.23. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama değerleri (10^6 m^3)	36
Şekil 4.24. 2001 yılı kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10^6 m^3)	36
Şekil 4.25. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar.....	37
Şekil 4.26. Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar	37
Şekil 5.1. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	40
Şekil 5.2. 1.senaryo 2 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	41
Şekil 5.3. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	42
Şekil 5.4. 1.senaryo 3 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	44
Şekil 5.5. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	45
Şekil 5.6. 1.senaryo 1 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	46
Şekil 5.7. 1.senaryo sistemdeki kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri	47
Şekil 5.8. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	59
Şekil 5.9. 2.senaryo 1-2 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	50
Şekil 5.10. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	52
Şekil 5.11. 2.senaryo 3 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	53
Şekil 5.12. 2.senaryo sistemdeki kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri	54
Şekil 5.13. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	55
Şekil 5.14. 3.senaryo 1-3 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	56
Şekil 5.15. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	58
Şekil 5.16. 3.senaryo 2 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri.....	59
Şekil 5.17. 3.senaryo sistemdeki kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri	60
Şekil 5.18. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	63
Şekil 5.19. 1.senaryo 2 numaralı hattın aylık toplam güç değerleri.....	64
Şekil 5.20. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	65
Şekil 5.21. 1.senaryo 3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri	66
Şekil 5.22. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	67

Şekil 5.23. 1. Senaryo 1 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri	68
Şekil 5.24. 1.senaryo sistemdeki aylık toplam güç değerleri	69
Şekil 5.25. 2. Senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	71
Şekil 5.26. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri.....	72
Şekil 5.27. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletm seviyeleri	73
Şekil 5.28. 2.senaryo 3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri	74
Şekil 5.29. 2.senaryo 3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri	75
Şekil 5.30. 3. senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	76
Şekil 5.31. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri.....	77
Şekil 5.32. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	78
Şekil 5.33. 3.senaryo 2 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri	79
Şekil 5.34. 3.senaryo sistemdeki aylık toplam güç değerleri	81

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Yeşilirmak Havzası' nda nehrin ana ve tali kolu üzerinde birbirine seri ve paralel bağlı bulunan barajlara ait veriler	22
Tablo 5.1. Barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar	38
Tablo 5.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri	38
Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları	39
Tablo 5.4. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	39
Tablo 5.5. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları	40
Tablo 5.6. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	40
Tablo 5.7. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	41
Tablo 5.8. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	42
Tablo 5.9. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları	42
Tablo 5.10. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	42
Tablo 5.11. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	43
Tablo 5.12. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	44
Tablo 5.13. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları	45
Tablo 5.14. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	45
Tablo 5.15. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	46
Tablo 5.16. 1.senaryo sistemdeki barajların kurak dönemdeki, aylık güç değerleri.....	47
Tablo 5.17. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	48
Tablo 5.18. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları	48
Tablo 5.19. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri	49
Tablo 5.20. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	50
Tablo 5.21. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	51

Tablo 5.22. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları	51
Tablo 5.23. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri	51
Tablo 5.24. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	52
Tablo 5.25. 2.senaryo sistemdeki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	53
Tablo 5.26. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	54
Tablo 5.27. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları	55
Tablo 5.28. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri	55
Tablo 5.29. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	56
Tablo 5.30. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	57
Tablo 5.31. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları	57
Tablo 5.32. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri	57
Tablo 5.33. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	58
Tablo 5.34. 3.senaryo sistemdeki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri.....	59
Tablo 5.35. Yeşilırmak Havza'sındaki 1-3 numaralı hattaki barajların güvenilir güç değerleri, P_G , (MW)	61
Tablo 5.36. Yeşilırmak Havza'sındaki 2 numaralı hattaki barajların güvenilir güç değerleri, P_G , (MW).....	61
Tablo 5.37. Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar	62
Tablo 5.38. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	63
Tablo 5.39. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	63
Tablo 5.40. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	63
Tablo 5.41. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri.....	64
Tablo 5.42. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	65
Tablo 5.43. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	65
Tablo 5.44. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	65
Tablo 5.45. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri.....	66
Tablo 5.46. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	67
Tablo 5.47. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	67

Tablo 5.48. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	67
Tablo 5.49. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri.....	68
Tablo 5.50. 1. Senaryo sistemdeki barajların aylık güç değerleri	69
Tablo 5.51. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	70
Tablo 5.52. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	70
Tablo 5.53. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	70
Tablo 5.54. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri	71
Tablo 5.55. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	72
Tablo 5.56. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	72
Tablo 5.57. 2. Senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	73
Tablo 5.58. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri.....	73
Tablo 5.59. 2.senaryo sistemdeki barajların aylık güç değerleri.....	74
Tablo 5.60. 3. Senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	75
Tablo 5.61. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	76
Tablo 5.62. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	76
Tablo 5.63. 3. senaryo 1-3 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri	77
Tablo 5.64. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları	78
Tablo 5.65. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları	78
Tablo 5.66. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri	78
Tablo 5.67. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri.....	79
Tablo 5.68. 3.senaryo sistemdeki barajların aylık güç değerleri.....	80
Tablo 5.69. Yeşilırmak Havza'sındaki 1-2 numaralı hattaki barajların ortalama güç değerleri, P_{ort} , (MW).....	82
Tablo 5.70. Yeşilırmak Havza'sındaki 3 numaralı hattaki barajların ortalama güç değerleri, P_{ort} , (MW).....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

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

Kısaltmalar

- DP : Dynamic Programming (Dinamik Programlama)
DDP : Differential Dynamic Programming (Farksal Dinamik Programlama)
DDDP : Discrete Differential Dynamic Programming(Ayrık Farksal Dinamik Programlama)
DPSA : Dynamic Programming With Successive Approximations (Ardışık Yaklaşırmalı Dinamik Programlama)
IDP : Incremental Dynamic Programming (Artırımlı Dinamik Programlama)
IDPSA : Incremental Dynamic Programming With Successive Approximations (Ardışık Yaklaşırmalı Artırımlı Dinamik Programlama)
MIDP : Multilevel Incremental Dynamic Programming (Çok-seviyeli Artırımlı Dinamik Programlama)
SDP : Stochastic Dynamic Programming (Stokastik Dinamik Programlama)

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

ÖZET

Su kaynaklarının optimal olarak planlanması ve işletilmesi, ülke ekonomileri ve hayat standartları gibi etkenleri içerisinde barındıran karmaşık bir yapıya ve sürece dayanmaktadır. Muhtemel faydaları en üst düzeye çıkarmak için su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve geliştirilmesi, aşılması gereken iki büyük zorluktur ve hidroelektrik santrallerin etkili işletimi bunun önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemi tanımlanmıştır. Sistem uzun süreli planlama işletme optimizasyon modeli üzerine kurulmuştur. Modelde dinamik programlama optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Kurulan model, Yeşilırmak Akarsu Havzası'nda Yeşilırmak Nehri ana ve tali kolu üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sistemine uygulanmıştır. Sistemde ilk olarak kurak dönem akımlarıyla güvenilir güç enbüyüklenmeye çalışılmıştır. Elde edilen güvenilir güç sistemde kısıt olarak tanımlandıktan sonra, toplam enerji enbüyüklenmiştir. Sistem 3 senaryoda ele alınmış ve buradan elde edilen sonuçlar enerji üretiminin enbüyüklenmesi açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, uzun süreli işletme modeli ile elde edilen güvenilir güç, ampirik denklemlerle elde edilen değerle yakın ve ortalama güç ise, % 32 kadar daha iyi olarak bulunmuştur.

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

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

ABSTRACT

Optimal planning and operation of water resources are depend on a complex structure and process that include country economics and life standards. Currently, sustainable use and development of water resources to maximize possible benefits are the two big challenges to be overcome and efficient use of hydropower forms a significant component of this. In this study, a water resources system with multi-objectives and multiple reservoirs is described. This system is set up on the optimal operation model for the long term planning. The technique of the dynamic programming is used for this model. Established model is applied to a water resources system with multi-objective and multiple reservoirs presented successively on the main and secondary line of the Yeşilırmak River in the Yeşilırmak River Basin. Firstly, the maximization of the firm power is studied with the flow data of the draught term. Firm power obtained is described as a constraint in the system, and then total energy in the same model is maximized. The system is considered in three scenarios and results obtained are evaluated to the maximization of the energy production. Accordingly, the firm energy obtained from the optimal operational model for long term planning is presented approximate the value determined by empiric equations, and also the average energy in the model is % 32 better than the value determined by empiric equations.

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

GİRİŞ

Türkiye’de yıllık ortalama yağış yaklaşık olarak 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m³ suya denk gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m³’ü toprak ve su yüzeyleri bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte 69 milyar m³’lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m³’lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklüklerdeki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m³’lük suyun 28 milyar m³’ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. (DSİ, 2014)

Ülkemiz su zengini bir ülke değildir. Gerekli önlemler alınmaz ise gelecekte su sıkıntısı çeken bir ülke olacaktır. Ülkenin su sıkıntısına düşmesine neden olacak etkenler arasında coğrafik koşullar nedeniyle su kaynaklarını kontrol etme güçlüğü, yağış ve su kaynaklarının dengesiz dağılımı, su havzasına dayalı bütünleştirilmiş su yönetimi uzun vadeli planlaması yerine, kısa vadeli, bölgesel, ayrı planlar vasıtasıyla su kaynaklarından yararlanılması gelmektedir.

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

Havza özelliklerine göre planlanan su depolama tesisleri, tüm sistemde su çevriminin en önemli halkasıdır. Su depolama tesisleri regülatörler, göletler ve barajlardır. Barajların faydaları arasında içme-kullanma suyu ve endüstriyel su temini, hidroelektrik enerji üretimi, balıkçılık, rekreasyon, doğal hayatı koruma, kuraklıkla mücadele ve taşkınlar gibi suyla ilgili felaketleri en aza indirme bulunmaktadır.

Türkiye'nin enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta olup, ülkenin başlıca yenilenebilir enerji kaynağı hidroelektrik enerjidir. Mevcut su kaynakları, akıllı bir şekilde geliştirilmeli ve yönetilmelidir. Hazne işletme eğrileri uzun dönem hazne işletmeleri için geliştirilen temel yönlendiricilerdir. Her bir hidroelektrik santral için, en yüksek enerji üretimini sağlayan işletme eğrileri geliştirilmelidir.

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.

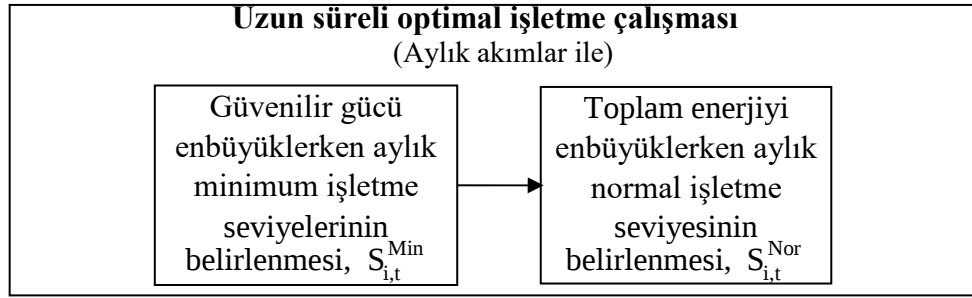


1. ÇOK BARAJLI SİSTEMLERDE UZUN SÜRELİ PLANLAMA

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

1.1. Uzun Süreli Planlama İçin 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 en büyüklenmekte 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. (Opan, 2007)



Şekil 1.1. Uzun süreli optimal işletme çalışması süreci

1.2. Uygulama Amaçlı Olarak Yeşilirmak Havzasındaki Çok Barajlı Su Kaynakları Sistemi

Yeşilirmak Havzası'nda, Yeşilirmak nehri ana kolu ve tali kolu üzerinde birbirine ardışık olarak bağlı çok barajlı bir sistem bulunmaktadır. Bu sisteme ait barajlar, sırasıyla, Gölova, Kılıçkaya, Çamlığöze, Almus, Ataköy, Hasan Uğurlu ve Suat Uğurlu barajlarıdır. Bu barajlardan Gölova ve Hasan Uğurlu, sulama ve enerji amaçlı, Kılıçkaya enerji ve taşkın, Çamlığöze, Ataköy ve Hasan Uğurlu enerji amaçlı ve Almus ise enerji, sulama ve taşkından koruma amaçlı olarak planlanmışlardır. Bu barajlara ait teknik ayrıntılar, Bölüm 4' te verilmektedir.

2. SU KAYNAKLARINDA SİSTEM OPTİMİZASYONU

2.1. Giriş

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 kapsamda gözetilecek amaçlar enerji üretimi (güvenilir enerji ve toplam enerji), sulama, içme suyu ve ulaşım gibi alanlarda en yüksek faydayı elde edebilmekle birlikte, taşkın zararları, kuraklık ve kirlilik gibi ekolojik dengenin bozulmasının önüne geçerek en düşük zararlarla sistemden en yüksek faydayı elde edebilmek olmalıdır.

Su kaynakları sistemlerinin optimum çalışması için optimizasyon ve simülasyon modelleri 1960'lı yılların başından beri geliştirilmiştir (Maas ve diğ., 1962). Bu tür çalışmaların sonuçları rezervuarların planlanması ve yönetiminde kullanılır. Rezervuar işletim kuralı eğrileri, uzun süreli rezervuar işletimi için karar vermede rehberlik etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. (Kangrang ve Lokham, 2013).

Türkiye’de ve Dünya’da, hidroelektrik enerji potansiyelini en verimli şekilde kullanılmak amacıyla, su kaynaklarının planlama veya işletme aşamalarında, hidroelektrik santrallerin enerji üretimini en iyi seviyeye çıkarmak için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan tüm bu çalışmalarda, hazne işletmeleri için özel işletme eğrileri geliştirilerek, haznenin olası kurak ve sulak sezonlarda hangi su seviyesinde bekletilmesi gerektiğine karar verilmesi, buna göre işletme politikası oluşturulması amaçlanmıştır.

Hazne işletmesinin en önemli görevi, dönem başında ne kadar suyun serbest bırakılacağına ve daha sonra kullanılmak için ne kadar suyun biriktirileceğine karar vermektir. Uygulamada hazne işletmeleri, sistemin mevcut durumu üzerindeki şartlara bağlı olarak işletme eğrilerini takip etmektedir. “Bir hazne sistemi

işletilmesinde; değerlendirmeler, sistem performansının zamanla değişen mevcut su talebini karşılaması üzerinden yapılır. Bir hazne sisteminde işletmenin maksadı, kütle denge denklemleri ve diğer kısıtlar altında faydaları maksimize etmek, masrafları minimize etmek, değişken su taleplerini karşılamaktır” (Rani ve Moreira, 2009).

Optimizasyon modellemesinin su kaynakları alanında ve hazne işletilmesine uygulanması, uzun bir geçmişe dayanır. Loucks ve van Beek (2005) su kaynakları sistemlerinde optimizasyon modellerinin uygulanmasıyla ilgili önemli çalışmalarda bulunmuşlardır. Optimizasyon modellerinde girdi parametreleri, bilinmeyen karar değişkenleri ve kısıtlar gibi bileşenleri açıklamışlardır.

Yeh (1985) teknik durum değerlendirme çalışmasında hazne modelleme, doğrusal programlama, dinamik programlama, doğrusal olmayan programlama, simülasyon ve işletme modelleri örneklerini açıklamaktadır.

2.2. Dinamik Programlama

Dinamik programlama, 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) geliştirerek işlem sayısını azaltma yolu ile hesaplama kolaylığı sağlamaya çalışmışlardır, (Nopmongcol ve Askew, 1976).

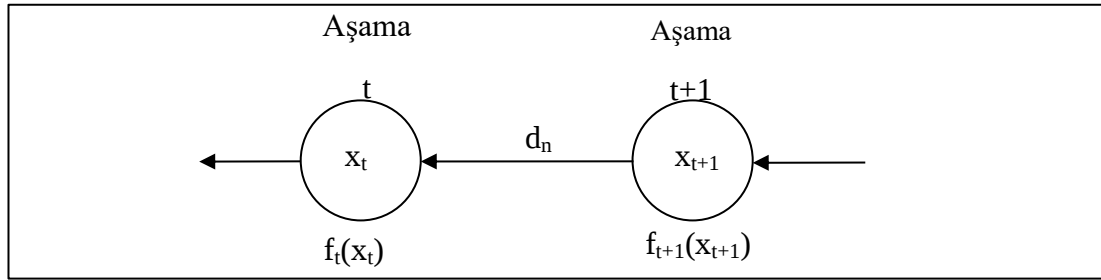
Dinamik programlamada üç değişken tipi vardır. Bunlar;

1. Sistemin davranışını olduğu gibi tanımlayan ve sistemin herhangi bir andaki durumunu gösteren durum 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 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 olarak tanımlanmaktadır. Benzer şekilde çözümün 1. aşamadan n+1. aşamaya doğru çözümü ise, ileriye doğru dinamik programlama olarak adlandırılmaktadır. (Opan, 2007)



Şekil 2.1. Dinamik programlamada aşamalar arası ilişkinin şematik gösterimi

Geriye doğru dinamik programlamada aşama dönüşüm Denklemi (2.1)’ deki gibi;

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

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. (Opan, 2007).

Şekil 2.2’ de yatay eksen aşama olarak zamanı ($t=1,2,3,\dots$), düşey eksen durum değerini, düşey eksendeki aralıklar durum değerine ait durum değişkenlerini, iki durum değeri arasındaki çizgiler ise enerji üretimi için bırakılan su miktarları olarak karar değişkenlerini göstermektedir. İşletme seviyesi, maksimum ve minimum işletme seviyeleri arasında istenen hassasiyete göre eşit aralıklı durumlara ayrılmaktadır. İki durum değeri arasındaki süreklilik, su dengesi ilişkisi ile sağlanmaktadır. Su dengesi ilişkisi Denklem (2.2)’ deki gibi;

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

şeklindedir. Burada,

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

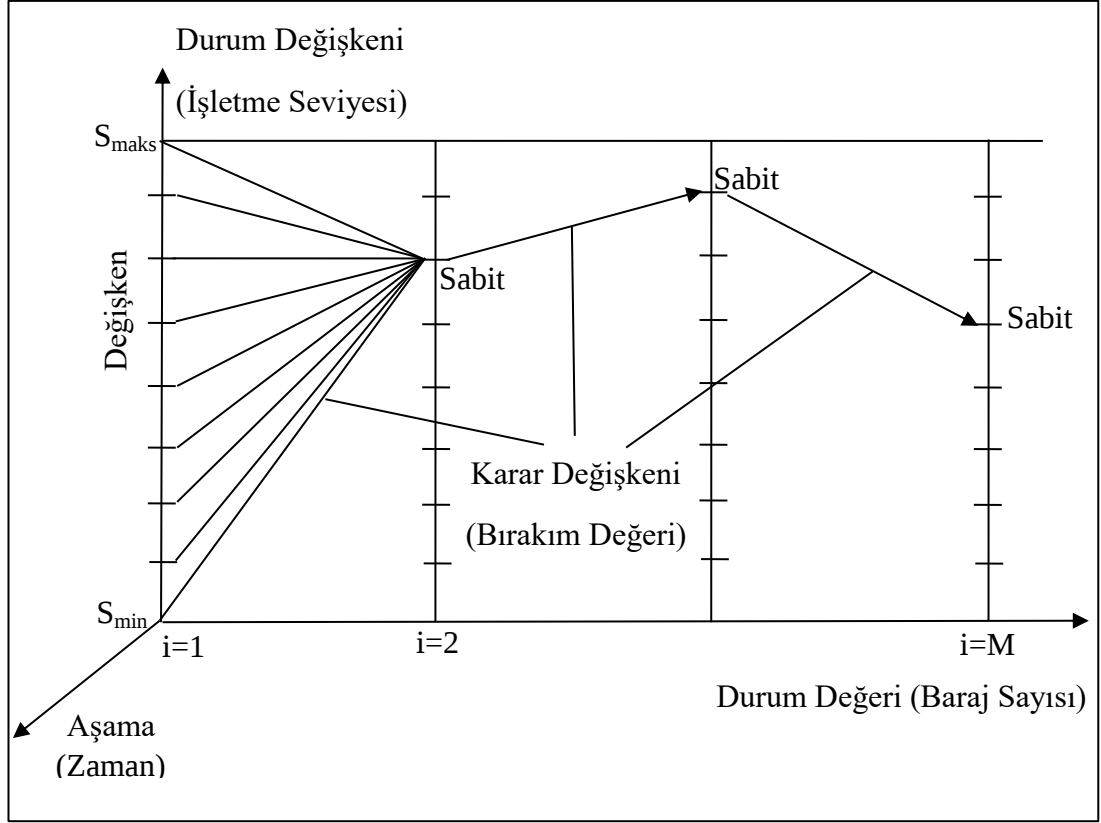
$F_{i,t}$: i-barajının havzasından t-zamanda gelen akım miktarı

$Q_{i,t}$: 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)
2. Farksal dinamik programlama (DDP)
3. Ayırık farksal dinamik programlama (DDDP)
4. Ardışık yaklaşırmalı dinamik programlama (DPSA)
5. Ardışık yaklaşırmalı artırımlı dinamik programlama (IDPSA)
6. Çok-seviyeli artırımlı dinamik programlama (MIDP)

olarak göz önüne alınabilir. (Opan, 2007)

Deterministik dinamik programlamada ilk çalışmanın Young (1967) tarafından sadece bir barajın işletmesinde kullanıldığı görülmektedir (Yakowitz, 1982). Young (1967) baraj hacmini durum değişkeni olarak kullanmıştır. Daha sonra benzer bir çalışma Hall ve diğ. (1969) tarafından Kaliforniya'da Shasta Barajı'nda uygulanmıştır. Larson (1968) hafıza kullanımı ve işlem sayısını azaltmak için IDP modelini önermiştir ve dört barajlı bir sisteme Bellman ve Dreyfus (1962) 'un ardışık yaklaştırmayı kullanarak uygulamıştır. Hall ve diğ. (1969) 'da daha önceki çalışmasını enerji faydası, güvenilir su, taşkın kısıtı gibi ilaveler ile geliştirmiştir. Roefs ve Bodin (1970) yöntemi birden fazla baraja sahip sistemlere uygulamıştır. Heidari ve diğ. (1971) ise dört barajlı bir sistem için işlem sayısını azaltmaya yönelik olarak DDDP modelini geliştirmiştir. Gerçekte DDDP yöntemi IDP yönteminin genelleştirilmiş halidir. IDP yönteminde her aşamada (zaman periyodunda) sabit olan durum artımları, DDDP yönteminde her aşamada farklı olarak alınmıştır. 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. Yakowitz (1982) ve Yeh (1985) su kaynaklarında kullanılan optimizasyon yöntemleri karşılaştırarak IDPSA yönteminin ve çok barajlı havza sistemlerinde kullanılabilecek en iyi yöntemlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Sert (1982) bir akarsu üzerindeki bir seri hidroelektrik tesisin optimal boyutlandırma ve işletmesi çalışmasında ve Sert ve diğr. (1983) Sakarya Havzası' nın enerji üretimini maksimize etmek için DPSA tekniğini benzetim yöntemleri ile birlikte kullanmıştır. 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. Yurtal (1993, 1995) çok barajlı sistemlerinin enerji optimizasyonu için IDPSA tekniğini, Türkiye'de, Seyhan Havzası'ndaki çok barajlı sisteme başarıyla uygulamıştır.

DPSA Korea'da, Han Havzası'nda, gerçek-zamanlı taşkın kontrol işletmeleri için Shim ve diğ. (2002) tarafından uygulanmıştır. Ayrıca, DPSA Lower Colorado Nehir

Baraj Sistemi'nde saatlik optimal hidrogüç birimlerinin planlanmasına yardımcı olması amacıyla Yi ve diğ. (2003) tarafından da uygulanmıştır.

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

Jothiprakash ve Arunkumar (2014) sulama, çoklu hidroelektrik santralleri ve taşkın kontrolü gibi çeşitli amaçlara hizmet eden çoklu rezervuar sistemi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, enerji üretimini maksimize etmek ve sulama gereksinimlerini karşılamak için lineer olmayan programlama ile birden çok rezervuar optimize edilmiştir. Bu teknik Maharashtra'da Koyna Hydro-Electric adlı bir projeye uygulanmıştır. Farklı işletim politikaları altında enerji üretimini maksimize etmek için üç farklı giriş senaryosu düşünülmüş, farklı giriş senaryoları için benzer optimum işletme eğrilerini elde etmişlerdir.

Li ve diğ. (2014), toplam güç üretimini maksimize etmek amacıyla gelişmiş bir ayrışma-koordinasyon ve ayrık diferansiyel dinamik programlama kullanmıştır. Çin'deki Yangtze Nehri Havza'sında büyük ölçekli bir hidroelektrik santralinin optimum çalışmasının belirlenmesi için yapılan bu çalışmada diğer yöntemlere kıyasla bu yöntemle toplam enerji üretimi ve yakınsama hızında iyi bir performans elde edildiğini tespit etmişlerdir.

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

Ponnambalam ve Adams (1996)' da Archibald ve diğ. (1997)' de SDP' de durum değişkenlerinin bırakım 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.

Labadie (2004) teknik raporunda çok hazneli optimizasyon çalışmalarına yer vermiştir. Açık ve kapalı stokastik optimizasyon, tahmin yöntemiyle gerçek zamanlı optimizasyon, sezgisel programlama yöntemlerini açıklamıştır. Modelleme teknolojileri ile genel model kullanımı arasındaki boşluğun daralacağını belirtmiş bunun zaman alacağını eklemiştir.

Rani ve Moreira (2009) hazne sistemlerinde işletme sistemlerindeki yaklaşımları araştırmışlar; klasik optimizasyon modelleri, simülasyon modellemesi, optimizasyon simülasyon birleşik optimizasyonu, evrimsel algoritma, bulanık küme teorisi ve yapay sinir ağları gibi mantıksal hesaplama yöntemlerini incelemişlerdir.

Anagnostopoulos ve Papantonis (2007) hidroelektrik tesisinin optimal büyüklüğünü maksimum enerji ve ekonomik fayda sağlamak için stokastik bir evrimsel algoritma kullanmışlardır. De Ladurantate ve diğ. (2009) barajlarda üretilen elektriğin satılmasıyla elde edilen karın maksimize edilmesi için deterministik ve stokastik modelleri analiz etmişlerdir.

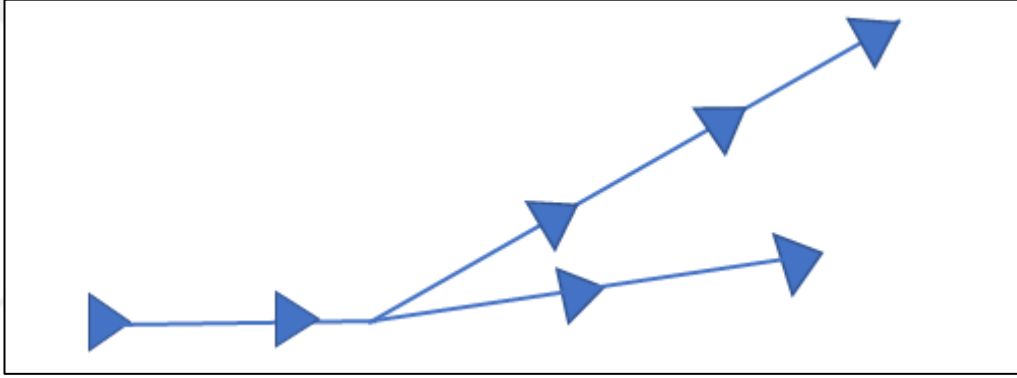
Huang ve diğ. (2003) uzun dönemli su seviyesi tahminleri için YSA kullanmışlardır. Haddad ve diğ. (2011) bal arısı optimizasyonu algoritması ile küçük hidroelektrik santrallerinin optimum tasarım, kontrol ve işletilmesini ele almışlardır.

Teegavarapu ve Simonovic (2014), hidrolik olarak birleşmiş çoklu rezervuar sisteminin dinamik davranışını araştırmak için bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu model sistem dinamikleri ilkeleri kullanılarak geliştirilmiş ve model için amaç yönelimli bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Özellikle, kuyruk suyu seviyesi değişimi, kuyruk suyu eğrilerinin türetilmesi ile gelişmiş modelde ayrıntılı olarak düşünülmüştür. Sonuçlar, bir seri rezervuar sisteminde bir rezervuar tarafından alınan işletim kararının tüm sistemi etkileyeceğini göstermiştir.

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 3.3’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1. Birbirine seri ve paralel bağlı çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü

Burada yapılan işletme modeli 3 senaryoda ele alınmıştır. Ana ve tali kol üzerindeki barajlar Şekil 3.2’de gösterildiği gibi gruplandırılarak numaralandırılmıştır. Suat Uğurlu ve Hasan Uğurlu 1 nolu hattaki barajlar, Çamlığöze, Kılıçkaya ve Gölova 2 nolu hattaki barajlar, Ataköy ve Almus ise 3 nolu hattaki barajlardır. Senaryolar;

1. senaryo: 2 ve 3 nolu hatların kritik dönem akımları ve ortalama akımlarla ayrı ayrı çalıştırılıp daha sonra 1 nolu hatta eklenerek tekrardan çalıştırılması,
2. senaryo: 1 ve 2 nolu hatların birlikte çalıştırılıp daha sonra 3 nolu hatta eklenerek tekrardan çalıştırılması,
3. senaryoda ise 1 ve 3 nolu hatların birlikte çalıştırılıp 2 nolu hatta eklenerek tekrardan çalıştırılması,

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), ayrık zaman dilimi Denklem (3.2) ve (3.3)' deki gibi;

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

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 Denklem (3.6) ve (3.7)' deki gibi;

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

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

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 Denklem (3.8)' deki gibi;

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

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 Denklem (3.9) ve (3.10)' daki gibi;

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

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

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 Denklem (3.11)'deki gibi;

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

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 Denklem (3.12)' deki gibi;

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

olup,

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

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

Barajlardaki ortalama su yüksekliği Denklem (3.13)' deki gibi;

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

şeklinde (ortalama depolanmış su miktarının bir fonksiyonu olarak) elde edilmektedir. Cebri boru veya taşıma tünelineki sürtünme kayıpları dikkate alındığında Denklem (3.14)' deki gibi;

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

olmakta ve buradan Denklem (3.15);

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

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 Denklem (3.16)'daki gibi;

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

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

2. Aylık ortalama akımlarla toplam enerjinin enbüyüklenmesi Denklem (3.17) ve (3.18)'deki gibi; ($P_G = \text{sabit}$)

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

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

4. YEŞİLIRMAK HAVZASINDAKİ ÇOK BARAJLI SU KAYNAKLARI SİSTEMİ

4.1. Giriş

Yeşilırmak havzası Anadolu'nun kuzey kesiminde sularını Yeşilırmak şebekesiyle Karadeniz'e boşaltan alanı kapsamaktadır. Havza, doğusunda Doğu Karadeniz ve Çoruh, batısında Kızılırmak, güneyinde Kızılırmak ve Fırat-Dicle havzaları ile çevrilidir. Yeşilırmak Köse Dağları'ndan doğarak batıya doğru Tokat ve Turhal ovalarından geçerek Amasya Ovası'ndan itibaren kuzeye yönelir, Canik Dağları'nı yarararak Topuzlu ve Eğrikazık Dağları arasından Çarşamba Ovası'na açılır. Bu ova içinden geniş bir delta yapan Yeşilırmak Çatlı Burnu'ndan denize dökülür.

Havzada iklim Akdeniz sahillerinden iç kısımlara doğru yarı nemli iklimden yarı kurak iklime geçişlidir. Havzanın Karadeniz'e bakan yamaçlarıyla, dağların arka yamaçlarında nemli ve yarı nemli iklim tipi hakimken, iç kesimlerde yarı kurak iklim tipi hakimdir. Karadeniz sahilinde yer alan Samsun ilinde ortalama yıllık yağış 639,9 mm, Ordu'da 1037 mm, olmasına karşılık iç kısımlarda yer alan Gümüşhane'de 462,6 mm, Tokat'ta 443,1 mm'dir. Yeşilırmak Akarsu Havzası'na gelen ortalama yıllık yağış miktarı 50 mm civarında olup, kış aylarında bu yağışlar 60-65 mm olarak görülmektedir. Yaz aylarında ise yağış miktarı en düşük temmuz, ağustos aylarında görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 12 derece civarındadır. Havzanın Karadeniz kıyısına yakın bölgelerinde sıcaklıklar iç kesimlere göre nispeten yüksektir.

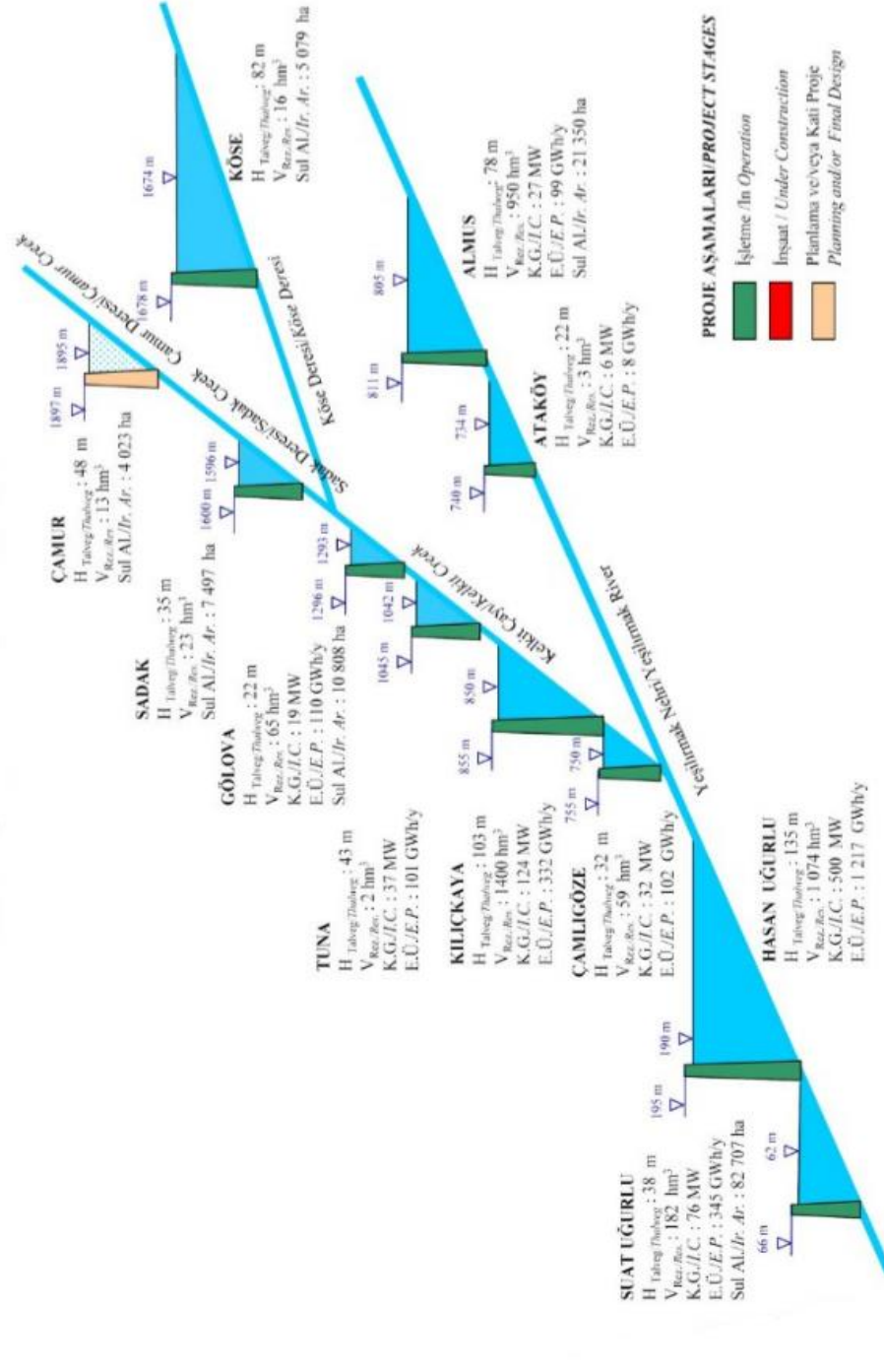
Sivas ili Suşehri İlçesi'nin güneybatısındaki Köse Dağları'ndan doğan Yeşilırmak 519 km uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun ikinci nehridir. Yeşilırmak'ın Çekerek, Kelkit, Tersakan olmak üzere üç önemli kolu bulunmakta olup, Kelkit Çayı en büyük koludur. Yeşilırmak Havzası'nın görünüşü, ana ve tali kolları, bu kollar üzerinde bulunan barajlar, Şekil 4.1' de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Yeşilırmak Havza'sının şematik görünüşü (DSİ, 2014)

Yeşilırmak Nehri ana kolu ve tali kolları üzerinde birçok baraj bulunmaktadır. Ana kolu üzerinde birbirine seri olarak bağlı bulunan barajlar, sırasıyla, Suat Uğurlu, Hasan Uğurlu, Ataköy, Almus, barajlarıdır. Tali kolu üzerinde bulunan barajlar ise Çamlığöze, Kılıçkaya, Tuna, Gölova, Sadak, Çamur ve Köse barajlarıdır. Bu barajlardan Suat Uğurlu ve Gölova enerji ve sulama amaçlı, Hasan Uğurlu, Çamlığöze, ve Ataköy enerji amaçlı, Kılıçkaya enerji ve taşkın amaçlı, Almus ise enerji, sulama, ve taşkından koruma amaçlı olarak planlanmışlardır. Şekil 4.2'de, Yeşilırmak Havzası'nda Yeşilırmak Nehri ana ve tali 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.

YEŞILIRMAK HAVZASINDAKİ BARAJLAR



Şekil 4.2. Yeşilirmak Havzası'nda Yeşilirmak Nehri ana ve kolları üzerinde ardışık olarak bulunan çok amaçlı ve çok barajlı bir su kaynakları sisteminin şematik görünüşü (DSİ, 2014)

Tablo 4.1. Yeşilırmak Havzası’ nda nehrin ana ve tali kolu üzerinde birbirine seri ve paralel bağlı bulunan barajlara ait veriler (DSI, 2014)

Barajlar	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	Almus	Ataköy	Hasan U.	Suat U.
Yağış Alanı (km ²)	727	8251	8251	2353	2353	35900	36100
Amaç	Sul.+En.	En.+Taş.	Enerji	Sul.Taş.+En.	Enerji	Enerji	En.+Sul.
Kurulu Güç (MW)	19	124	33	27	5,5	500	69
Baraj Yüksekliği (m)	26	134	37,5	95	26	175	51
Maksimum İşletme Seviyesi (m)	1294	850	751,5	804,5	736,9	190	61,5
Minimum İşletme Seviyesi (m)	1280	821	745	767,37	733,5	150	58,5
Maksimum Hacim (10 ⁶ m ³)	70,28	1400	60,15	950	1,93	1018,37	182,5
Minimum Hacim (10 ⁶ m ³)	12,6	367	30,02	151,54	0,82	382,3	154,4
Kuyruk Suyu Kotu (m)	1274,7	750	723,3	731,6	715	61,5	28
Dolu Savak Kapasitesi (m ³ / sn)	70	3000	3000	2243		11000	11000
Enerji Üretimi Kapasitesi (m ³ / sn)	105,6	133,1	125,6	39,7	26,9	417,5	221,0
Aylık Maksimum Akım (m ³ /sn)	15,51	290,52	329,17	110,61	114,47	831,02	835,66
Aylık Minimum Akım (m ³ /sn)	1,83	1,89	5,75	0,04	3,90	51,23	51,50
Aylık Ortalama Akım (m ³ /sn)	5,88	51,96	55,81	17,99	21,85	191,59	192,48

Barajlara ait resimler sırasıyla, Şekil 4.3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9’ da gösterilmektedir.



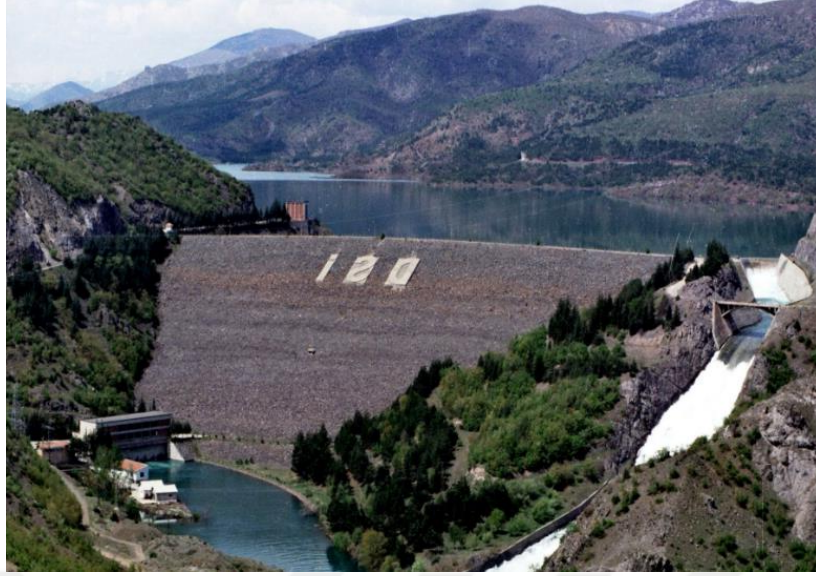
Şekil 4.3. Gölova Barajı’nın görüntüsü



Şekil 4.4. Kılıçkaya Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.5. Çamlığöze Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.6. Almus Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.7. Ataköy Barajı'nın görüntüsü



Şekil 4.8. Hasan Uğurlu Barajı'nın görüntüsü

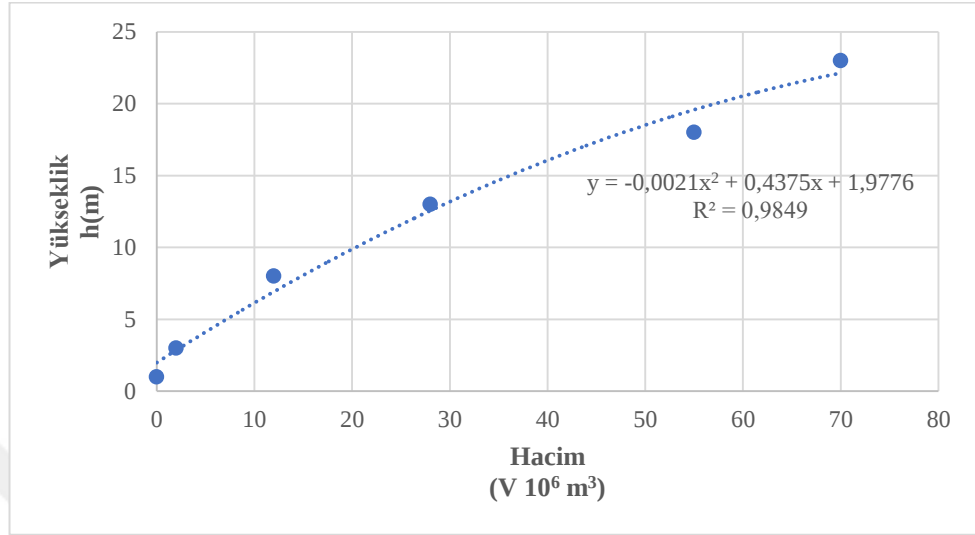


Şekil 4.9. Suat Uğurlu Barajı'nın görüntüsü

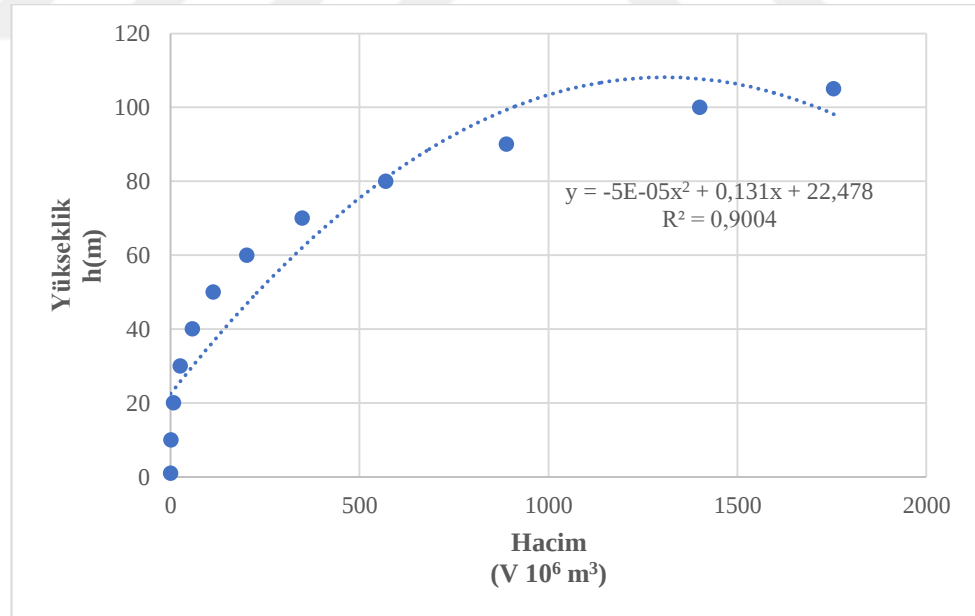
4.2.Yükseklik- Hacim İlişkileri

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

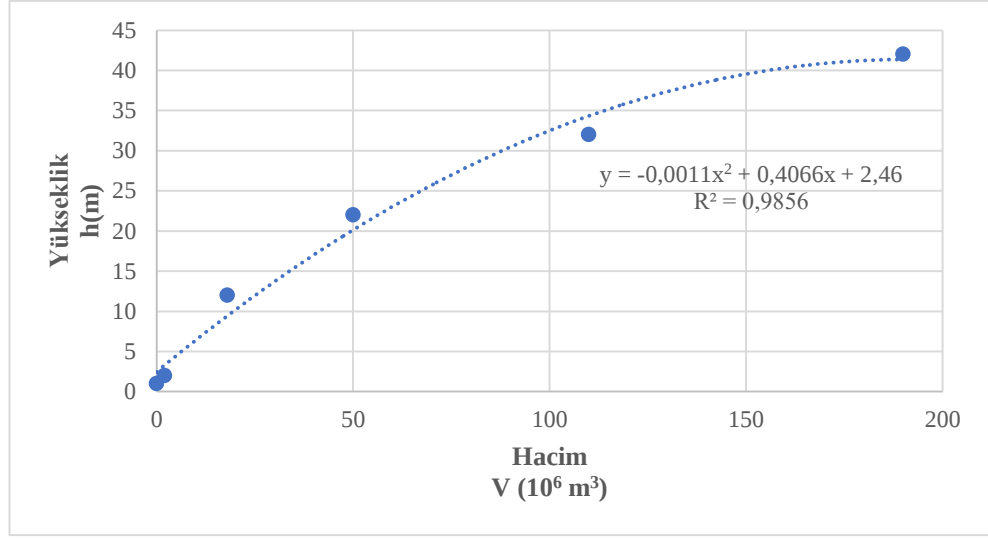
katsayıları ile R^2 regresyon katsayısının değerleri belirlenip, grafik üzerine işlenmiştir. Her bir baraja ait yükseklik hacim eğrileri ve denklemleri sırasıyla gösterilmektedir.



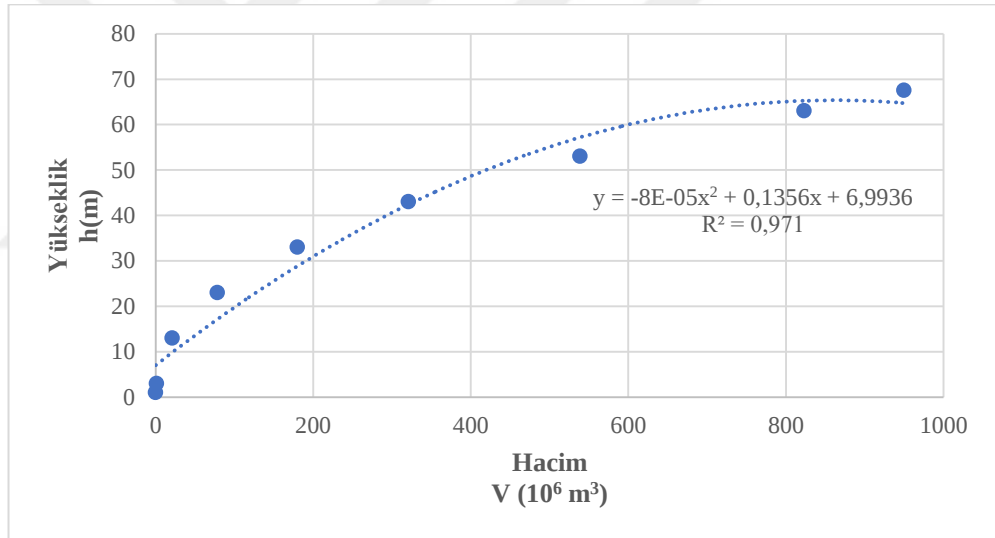
Şekil 4.10. Gölova Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



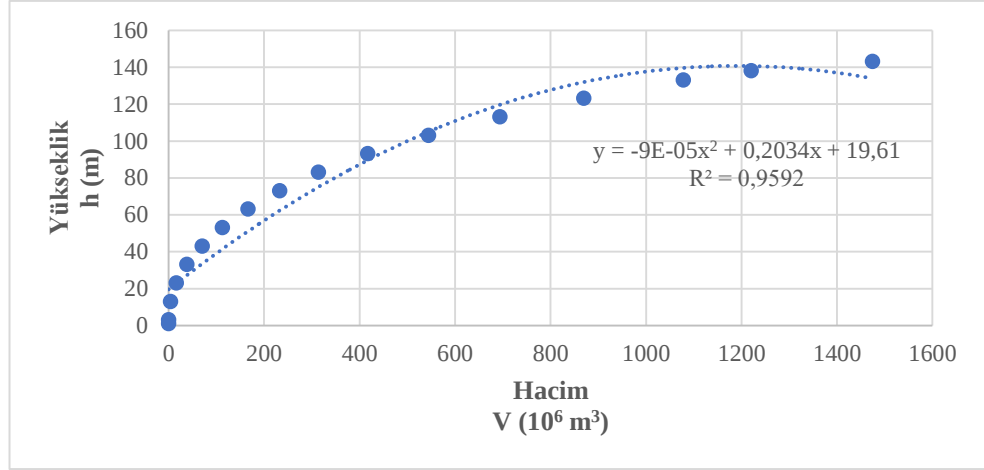
Şekil 4.11. Kılıçkaya Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



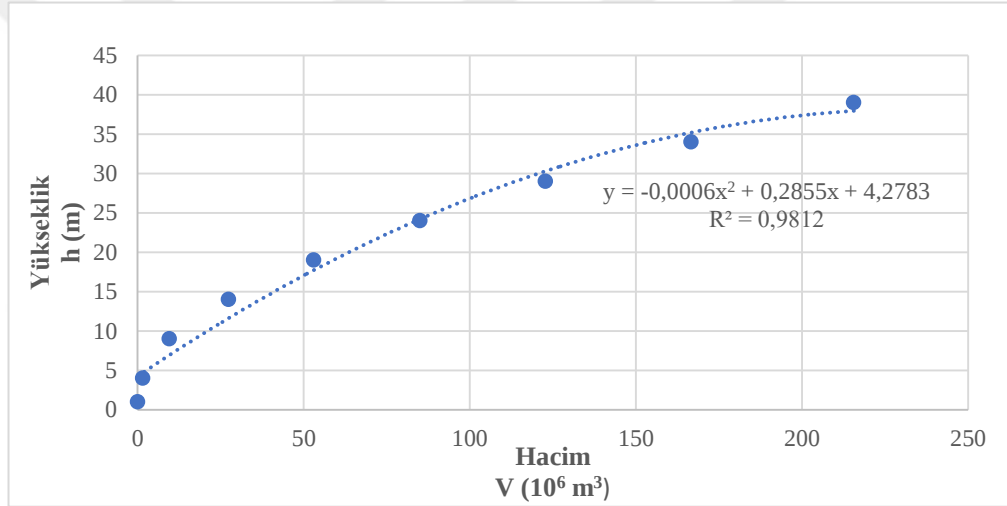
Şekil 4.12. Çamlığöze Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.13. Almus Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.14. Hasan Uğurlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri



Şekil 4.15. Suat Uğurlu Barajı yükseklik hacim eğrisi, denklemi ve regresyon değeri

4.3 Barajlara Gelen Akımlar

1985'ten 2004 tarihine kadar olan akım gözlem değerleri baraj akslarına taşınmış değerler olarak m^3/s boyutunda düzenlenmiştir.(DSİ, 2016) Gölova, Kılıçkaya, Çamlıgöze, Almus, Ataköy, Hasan Uğurlu ve Suat Uğurlu barajlarının aksına taşınmış akım gözlem değerleri, sırasıyla, Şekil 4.16, 17, 18, 19, 20, 21 ve 22' de gösterilmektedir.

Bu akım gözlem değerleri kullanılarak 1985-2004 yıllarına göre aylık ortalama akımlar elde edilmiştir. Her bir barajdaki aylık ortalama akım değerleri, Şekil 4.23' de ve Şekil 4.25' te gösterilmektedir.

Su Yılı	AYLAR												Yıllık Topl.
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1985	5,46	6,62	6,58	6,46	16,38	11,85	38,90	36,80	12,00	6,84	6,25	5,14	159,30
1986	7,55	9,10	9,64	8,06	9,68	25,70	38,90	40,20	36,10	10,60	7,51	5,95	209,00
1987	7,67	9,55	7,30	7,58	12,00	12,52	38,90	40,20	28,60	13,00	7,32	5,78	190,40
1988	7,44	15,80	15,90	12,60	12,50	33,20	38,90	40,20	38,90	19,80	10,45	9,90	255,40
1989	17,40	26,00	22,30	12,70	7,98	37,20	38,90	20,00	11,07	7,17	5,84	5,89	212,40
1990	7,73	9,27	13,00	12,70	10,80	25,00	38,90	40,20	19,60	12,80	7,12	6,28	203,40
1991	7,31	9,18	8,44	7,35	12,90	26,60	38,90	36,10	16,40	7,67	6,33	5,85	183,00
1992	7,31	10,40	8,55	7,54	8,21	17,00	38,90	40,20	27,40	10,42	7,87	6,80	190,60
1993	8,51	9,32	10,00	8,86	8,20	21,00	38,90	40,20	32,20	9,59	7,97	6,71	201,40
1994	6,91	7,83	8,09	7,45	6,53	13,80	26,50	19,38	5,45	6,56	6,11	5,09	119,70
1995	4,75	5,85	6,17	7,05	7,26	15,00	38,90	40,20	20,90	10,70	7,96	7,16	171,90
1996	8,95	21,40	14,90	11,30	11,30	15,10	38,90	40,20	4,90	8,98	6,70	6,68	199,40
1997	8,92	8,84	11,90	11,50	8,51	10,23	38,90	40,20	23,50	9,17	6,29	6,00	183,90
1998	9,86	9,38	7,59	6,92	7,22	19,50	38,90	40,20	36,10	12,40	9,56	6,66	204,20
1999	7,16	7,43	13,60	8,60	8,03	16,90	38,90	40,20	17,70	13,10	6,78	8,09	186,30
2000	8,70	7,41	7,90	7,69	7,65	10,98	38,90	29,50	10,90	6,28	6,28	5,18	147,40
2001	6,15	6,89	6,49	7,02	6,74	15,70	13,94	27,80	11,22	7,01	6,22	5,04	120,20
2002	6,84	6,25	6,71	7,08	7,37	14,40	36,30	33,80	16,50	8,29	6,91	6,04	156,40
2003	5,98	6,25	6,39	6,68	6,44	8,89	38,90	30,60	15,60	6,79	6,22	5,23	144,00
2004	5,63	10,00	9,18	8,01	8,48	40,20	38,90	40,20	34,10	10,18	7,45	5,73	218,00
Ort.	7,81	10,14	10,03	8,66	9,21	19,54	36,90	35,82	20,96	9,87	7,16	6,26	182,82

Şekil 4.16. Gölova Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10⁶ m³)

Su Yılı	AYLAR												Yıllık Topl.
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1985	15,10	22,40	19,80	27,90	55,70	115,70	512,20	323,00	89,40	21,90	13,60	4,90	1332,00
1986	37,10	77,50	80,50	60,50	92,90	219,70	351,90	450,80	298,50	52,50	21,80	10,20	1864,00
1987	22,20	43,60	35,70	88,10	164,80	130,50	654,30	756,70	293,30	82,00	24,20	13,90	2419,00
1988	20,10	80,00	131,60	66,10	78,30	276,60	843,20	746,10	381,10	123,60	41,70	36,20	2935,00
1989	54,40	177,90	197,80	90,00	61,90	272,20	178,90	200,20	41,90	44,20	43,20	24,00	1497,00
1990	23,60	23,30	44,30	87,10	69,80	214,50	574,50	589,50	178,60	84,80	68,90	24,10	2093,00
1991	128,30	48,10	83,40	32,90	134,30	278,70	426,00	291,10	93,00	28,20	26,10	22,70	1703,00
1992	7,00	21,10	86,60	35,90	39,50	121,00	501,90	333,70	219,20	67,10	51,20	56,00	1650,00
1993	104,20	65,80	111,90	85,60	75,40	209,80	727,40	578,50	221,50	56,90	40,20	24,80	2412,00
1994	43,70	53,90	51,00	55,70	49,10	97,90	179,90	127,90	18,10	28,30	25,20	18,30	859,00
1995	20,90	40,10	84,70	104,10	74,70	115,10	404,20	484,10	124,90	42,90	35,60	35,80	1677,00
1996	59,00	176,20	128,60	90,20	82,00	130,70	466,90	471,50	111,80	50,60	32,30	43,00	1953,00
1997	64,40	86,60	91,50	73,10	54,00	79,40	463,40	401,20	173,80	57,80	45,10	36,40	1737,00
1998	64,50	54,50	49,20	46,60	52,10	160,60	664,20	439,80	271,20	70,80	58,20	25,60	2067,00
1999	41,00	56,30	100,80	55,30	39,80	117,40	446,50	383,90	126,70	81,10	26,00	31,90	1617,00
2000	52,10	56,70	41,00	48,80	53,40	97,60	650,40	322,00	92,50	42,40	36,60	19,90	1623,00
2001	31,60	35,60	38,80	41,30	36,60	109,20	87,50	218,70	67,00	34,80	30,20	23,10	864,50
2002	27,50	30,70	30,40	31,00	36,00	99,90	282,70	240,80	123,30	59,40	32,10	26,80	1130,00
2003	27,40	40,50	36,20	41,10	32,40	57,30	405,30	278,90	153,20	58,60	40,20	31,50	1313,00
2004	28,80	59,70	55,80	49,70	50,90	415,40	321,40	387,40	228,00	36,60	20,70	11,50	1776,00
Ort.	43,65	62,53	74,98	60,55	66,68	165,96	457,14	401,29	165,35	56,23	35,66	26,03	1726,08

Şekil 4.17. Kılıçkaya Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri ($10^6 m^3$)

Su Yılı	AYLAR												Yıllık Topl.
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1985	25,10	32,40	29,80	37,90	65,70	125,70	522,20	333,00	99,40	31,90	23,60	14,90	1342,00
1986	47,10	87,50	90,50	70,50	102,90	229,70	361,90	460,80	308,50	62,50	31,80	20,20	1874,00
1987	32,20	53,60	45,70	98,10	174,80	140,50	664,30	766,70	303,30	92,00	34,20	23,90	2429,00
1988	30,10	90,00	141,60	76,10	88,30	286,60	853,20	756,10	391,10	133,60	51,70	46,20	2945,00
1989	64,40	187,90	207,80	100,00	71,90	282,20	188,90	210,20	51,90	54,20	53,20	34,00	1507,00
1990	33,60	33,30	54,30	97,10	79,80	224,50	584,50	599,50	188,60	94,80	78,90	34,10	2103,00
1991	138,30	58,10	93,40	42,90	144,30	288,70	436,00	301,10	103,00	38,20	36,10	32,70	1713,00
1992	17,00	31,10	96,60	45,90	49,50	131,00	511,90	343,70	229,20	77,10	61,20	66,00	1660,00
1993	114,20	75,80	121,90	95,60	85,40	219,80	737,40	588,50	231,50	66,90	50,20	34,80	2422,00
1994	53,70	63,90	61,00	65,70	59,10	107,90	189,90	137,90	28,10	38,30	35,20	28,30	869,00
1995	30,90	50,10	94,70	114,10	84,70	125,10	414,20	494,10	134,90	52,90	45,60	45,80	1687,00
1996	69,00	186,20	138,60	100,20	92,00	140,70	476,90	481,50	121,80	60,60	42,30	53,00	1963,00
1997	74,40	96,60	101,50	83,10	64,00	89,40	473,40	411,20	183,80	67,80	55,10	46,40	1747,00
1998	74,50	64,50	59,20	56,60	62,10	170,60	674,20	449,80	281,20	80,80	68,20	35,60	2077,00
1999	51,00	66,30	110,80	65,30	49,80	127,40	456,50	393,90	136,70	91,10	36,00	41,90	1627,00
2000	62,10	66,70	51,00	58,80	63,40	107,60	660,40	332,00	102,50	52,40	46,60	29,90	1633,00
2001	41,60	45,60	48,80	51,30	46,60	119,20	97,50	228,70	77,00	44,80	40,20	33,10	874,50
2002	37,50	40,70	40,40	41,00	46,00	109,90	292,70	250,80	133,30	69,40	42,10	36,80	1140,00
2003	37,40	50,50	46,20	51,10	42,40	67,30	415,30	288,90	163,20	68,60	50,20	41,50	1323,00
2004	38,80	69,70	65,80	59,70	60,90	425,40	331,40	397,40	238,00	46,60	30,70	21,50	1786,00
Ort.	53,65	72,53	84,98	70,55	76,68	175,96	467,14	411,29	175,35	66,23	45,66	36,03	1736,08

Şekil 4.18. Çamlığöze Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10⁶m³)

Su Yılı	AYLAR												Yıllık Topl.
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1985	4,20	5,90	6,70	11,70	19,10	46,30	194,70	108,90	29,30	9,10	3,10	1,40	550,50
1986	15,40	35,30	27,00	37,40	47,30	93,20	114,40	145,60	85,80	19,70	7,50	5,70	744,20
1987	5,00	10,50	11,70	51,60	87,80	54,90	221,40	190,90	72,50	23,40	6,80	3,30	849,80
1988	3,60	27,60	60,10	15,70	29,60	110,00	272,50	191,30	103,50	36,90	15,10	8,60	984,50
1989	22,00	44,80	55,00	23,60	22,30	158,60	124,10	45,50	19,40	5,30	1,80	2,90	635,30
1990	9,30	49,90	89,60	38,60	24,50	93,10	186,20	196,40	58,60	19,50	6,70	4,70	887,30
1991	5,20	10,50	13,80	8,10	11,40	93,10	154,70	116,10	39,10	11,90	4,10	3,30	581,30
1992	4,80	18,30	18,70	16,50	11,60	65,90	180,50	98,70	54,90	19,00	8,00	4,90	611,90
1993	6,60	24,70	29,20	31,80	37,20	106,90	286,70	148,90	69,40	24,10	9,90	5,10	890,50
1994	4,20	5,70	13,30	19,00	16,10	77,30	100,40	62,40	13,70	4,60	1,40	0,90	429,10
1995	1,20	20,10	18,60	43,00	27,10	96,90	192,10	126,90	45,90	23,20	5,60	3,20	713,90
1996	7,40	53,30	28,00	25,10	19,60	82,90	197,00	130,10	41,90	11,50	5,30	5,10	717,10
1997	13,60	9,90	26,00	22,40	14,40	24,80	143,00	108,70	63,70	19,00	8,70	5,80	570,10
1998	28,90	19,80	40,00	23,30	39,30	96,70	212,60	164,50	74,80	22,40	8,00	4,50	844,80
1999	7,80	12,90	60,30	19,00	23,40	55,90	118,30	84,70	36,50	15,20	5,70	3,70	553,40
2000	3,00	4,70	8,00	10,10	13,80	49,70	247,80	159,50	62,60	14,40	5,70	3,50	692,80
2001	6,30	5,20	4,80	3,80	4,30	39,50	66,70	74,70	17,20	4,70	0,80	0,10	338,20
2002	0,50	3,40	16,70	22,30	34,30	116,00	201,50	125,20	54,70	19,00	5,50	4,30	713,30
2003	3,90	7,40	4,90	12,80	10,70	21,40	204,30	94,60	26,90	6,30	2,50	3,00	508,90
2004	3,20	13,90	15,60	19,30	31,90	157,70	86,50	85,30	37,90	10,90	2,80	1,30	576,30
Ort.	7,81	19,19	27,40	22,76	26,29	82,04	175,27	122,95	50,42	16,01	5,75	3,77	669,66

Şekil 4.19. Almus Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10⁶ m³)

Su Yılı	AYLAR												Yıllık Topl.
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1985	14,20	15,90	16,70	21,70	29,10	56,30	204,70	118,90	39,30	19,10	13,10	11,40	560,50
1986	25,40	45,30	37,00	47,40	57,30	103,20	124,40	155,60	95,80	29,70	17,50	15,70	754,20
1987	15,00	20,50	21,70	61,60	97,80	64,90	231,40	200,90	82,50	33,40	16,80	13,30	859,80
1988	13,60	37,60	70,10	25,70	39,60	120,00	282,50	201,30	113,50	46,90	25,10	18,60	994,50
1989	32,00	54,80	65,00	33,60	32,30	168,60	134,10	55,50	29,40	15,30	11,80	12,90	645,30
1990	19,30	59,90	99,60	48,60	34,50	103,10	196,20	206,40	68,60	29,50	16,70	14,70	897,30
1991	15,20	20,50	23,80	18,10	21,40	103,10	164,70	126,10	49,10	21,90	14,10	13,30	591,30
1992	14,80	28,30	28,70	26,50	21,60	75,90	190,50	108,70	64,90	29,00	18,00	14,90	621,90
1993	16,60	34,70	39,20	41,80	47,20	116,90	296,70	158,90	79,40	34,10	19,90	15,10	900,50
1994	14,20	15,70	23,30	29,00	26,10	87,30	110,40	72,40	23,70	14,60	11,40	10,90	439,10
1995	11,20	30,10	28,60	53,00	37,10	106,90	202,10	136,90	55,90	33,20	15,60	13,20	723,90
1996	17,40	63,30	38,00	35,10	29,60	92,90	207,00	140,10	51,90	21,50	15,30	15,10	727,10
1997	23,60	19,90	36,00	32,40	24,40	34,80	153,00	118,70	73,70	29,00	18,70	15,80	580,10
1998	38,90	29,80	50,00	33,30	49,30	106,70	222,60	174,50	84,80	32,40	18,00	14,50	854,80
1999	17,80	22,90	70,30	29,00	33,40	65,90	128,30	94,70	46,50	25,20	15,70	13,70	563,40
2000	13,00	14,70	18,00	20,10	23,80	59,70	257,80	169,50	72,60	24,40	15,70	13,50	702,80
2001	16,30	15,20	14,80	13,80	14,30	49,50	76,70	84,70	27,20	14,70	10,80	10,10	348,20
2002	10,50	13,40	26,70	32,30	44,30	126,00	211,50	135,20	64,70	29,00	15,50	14,30	723,30
2003	13,90	17,40	14,90	22,80	20,70	31,40	214,30	104,60	36,90	16,30	12,50	13,00	518,90
2004	13,20	23,90	25,60	29,30	41,90	167,70	96,50	95,30	47,90	20,90	12,80	11,30	586,30
Ort.	17,81	29,19	37,40	32,76	36,29	92,04	185,27	132,95	60,42	26,01	15,75	13,77	679,66

Şekil 4.20. Ataköy Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10⁶m³)

Su Yılı	AYLAR												Yıllık Topl.
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1985	162,30	177,20	167,30	228,70	293,30	628,70	1428,00	835,50	337,10	354,70	161,50	132,80	4739,00
1986	247,00	405,80	385,20	450,30	541,10	788,10	893,70	1107,00	810,00	351,50	197,60	154,90	6336,00
1987	165,90	215,80	222,80	501,90	739,10	686,10	1689,00	1683,00	888,40	667,10	208,60	165,80	7517,00
1988	182,40	341,20	531,60	392,80	523,10	1134,00	2145,00	1643,00	1098,00	246,40	270,20	223,40	9152,00
1989	411,90	765,60	762,40	442,60	425,70	1169,00	719,00	531,00	331,70	379,10	223,40	185,30	6214,00
1990	169,50	320,40	508,30	418,30	356,80	775,40	1441,00	2135,00	683,00	244,60	281,70	218,10	7686,00
1991	348,40	294,90	295,90	241,70	393,30	857,70	1225,00	1046,00	490,30	314,50	189,50	247,80	5875,00
1992	297,50	333,50	296,50	237,80	247,80	663,80	1418,00	862,90	665,00	356,80	241,40	220,30	5799,00
1993	282,00	326,60	380,10	399,50	468,20	1093,00	2154,00	1637,00	881,00	175,90	303,90	217,10	8499,00
1994	224,80	221,30	260,50	275,20	274,70	613,10	620,50	479,80	191,70	330,40	152,50	140,60	3631,00
1995	158,80	242,50	351,50	468,80	318,40	562,90	1221,00	1169,00	432,00	281,70	211,80	180,00	5647,00
1996	247,80	559,20	368,50	312,40	321,00	726,40	1554,00	1111,00	450,00	279,00	231,90	259,40	6423,00
1997	294,40	310,20	323,00	305,00	258,20	310,20	1162,00	964,00	528,80	351,50	233,00	179,90	5148,00
1998	289,00	277,50	331,40	264,70	371,70	786,70	1650,00	1467,00	866,20	320,80	270,00	192,40	7118,00
1999	197,80	246,70	441,10	309,80	324,30	584,10	1097,00	855,40	392,80	292,20	245,70	205,60	5221,00
2000	222,30	221,60	226,20	202,70	248,80	552,10	1683,00	1166,00	616,30	292,20	266,90	191,20	5889,00
2001	194,80	178,30	199,50	212,90	191,50	360,90	414,20	651,10	284,30	243,90	221,60	171,70	3325,00
2002	147,40	188,00	243,60	266,70	311,90	561,00	1061,00	803,10	438,30	348,80	226,60	205,10	4801,00
2003	148,20	193,20	173,00	228,90	223,10	288,30	1090,00	772,20	412,30	287,40	314,70	180,70	4312,00
2004	137,00	212,30	301,00	307,70	316,60	1188,00	754,90	1211,00	575,00	328,60	262,80	147,70	5743,00
Ort.	226,46	301,59	338,47	323,42	357,43	716,48	1271,02	1106,50	568,61	322,36	235,77	190,99	5953,75

Şekil 4.21. Hasan Uğurlu Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10⁶ m³)

Su Yılı	AYLAR												Yıllık Topl.
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1985	163,20	178,20	168,20	230,00	294,90	632,20	1436,00	840,10	339,00	187,70	162,40	133,50	4766,00
1986	248,40	408,10	387,40	452,80	544,10	792,40	898,70	1113,00	814,50	356,70	198,70	155,80	6371,00
1987	166,80	217,00	224,00	504,70	743,20	690,00	1698,00	1692,00	893,30	353,50	209,80	166,70	7559,00
1988	183,40	343,10	534,50	395,00	526,00	1140,00	2157,00	1652,00	1104,00	670,80	271,70	224,70	9203,00
1989	414,20	769,80	766,60	445,10	428,00	1176,00	723,00	534,00	333,60	247,80	224,70	186,30	6249,00
1990	170,40	322,20	511,10	420,60	358,80	779,70	1449,00	2147,00	686,80	381,20	283,20	219,30	7729,00
1991	350,30	296,50	297,50	243,00	395,50	862,50	1232,00	1052,00	493,00	245,90	190,60	249,20	5908,00
1992	299,20	335,40	298,10	239,10	249,20	667,50	1426,00	867,70	668,70	316,20	242,80	221,50	5831,00
1993	283,60	328,40	382,20	401,70	470,80	1099,00	2166,00	1646,00	885,90	358,80	305,60	218,30	8547,00
1994	226,10	222,50	261,90	276,70	276,30	616,50	624,00	482,40	192,80	176,90	153,30	141,40	3651,00
1995	159,70	243,80	353,50	471,40	320,20	566,00	1228,00	1176,00	434,40	332,20	213,00	181,00	5678,00
1996	249,20	562,30	370,50	314,10	322,80	730,40	1563,00	1117,00	452,50	283,20	233,20	260,90	6459,00
1997	296,00	312,00	324,80	306,70	259,60	312,00	1169,00	969,40	531,70	280,60	234,30	180,90	5177,00
1998	290,60	279,00	333,30	266,20	373,70	791,10	1659,00	1475,00	871,00	353,50	271,50	193,50	7158,00
1999	198,90	248,10	443,50	311,50	326,10	587,30	1103,00	860,10	395,00	322,60	247,00	206,70	5250,00
2000	223,60	222,80	227,40	203,90	250,10	555,20	1692,00	1172,00	619,70	293,90	268,40	192,30	5922,00
2001	195,90	179,30	200,60	214,10	192,60	362,90	416,50	654,70	285,90	245,20	222,90	172,70	3343,00
2002	148,20	189,10	244,90	268,20	313,60	564,10	1067,00	807,50	440,70	350,80	227,90	206,20	4828,00
2003	149,10	194,20	173,90	230,20	224,30	289,90	1096,00	776,50	414,60	289,00	316,40	181,70	4336,00
2004	137,70	213,50	302,70	309,40	318,40	1195,00	759,10	1218,00	578,20	330,50	264,20	148,50	5775,00
Ort.	227,73	303,27	340,33	325,22	359,41	720,49	1278,12	1112,62	571,77	318,85	237,08	192,06	5987,00

Şekil 4.22. Suat Uğurlu Barajı aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10⁶ m³)

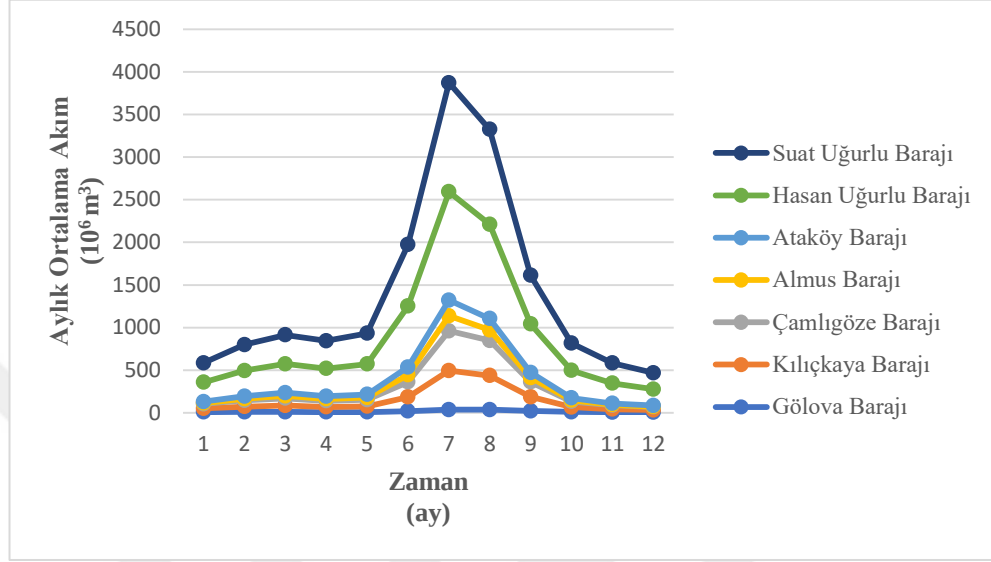
Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Gölova	7,81	10,14	10,03	8,66	9,21	19,54	36,90	35,82	20,96	9,87	7,16	6,26	182,82
Kılıçkaya	43,65	62,53	74,98	60,55	66,68	165,96	457,14	401,29	165,35	56,23	35,66	26,03	1726,08
Çamlığöze	53,65	72,53	84,98	70,55	76,68	175,96	467,14	411,29	175,35	66,23	45,66	36,03	1736,08
Almus	7,81	19,19	27,40	22,76	26,29	82,04	175,27	122,95	50,42	16,01	5,75	3,77	669,66
Ataköy	17,81	29,19	37,40	32,76	36,29	92,04	185,27	132,95	60,42	26,01	15,75	13,77	679,66
Hasan Uğurlu	226,46	301,59	338,47	323,42	357,43	716,48	1271,02	1106,50	568,61	322,36	235,77	190,99	5953,75
Suat Uğurlu	227,73	303,27	340,33	325,22	359,41	720,49	1278,12	1112,62	571,77	318,85	237,08	192,06	5987,00

Şekil 4.23. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar (10^6 m^3)

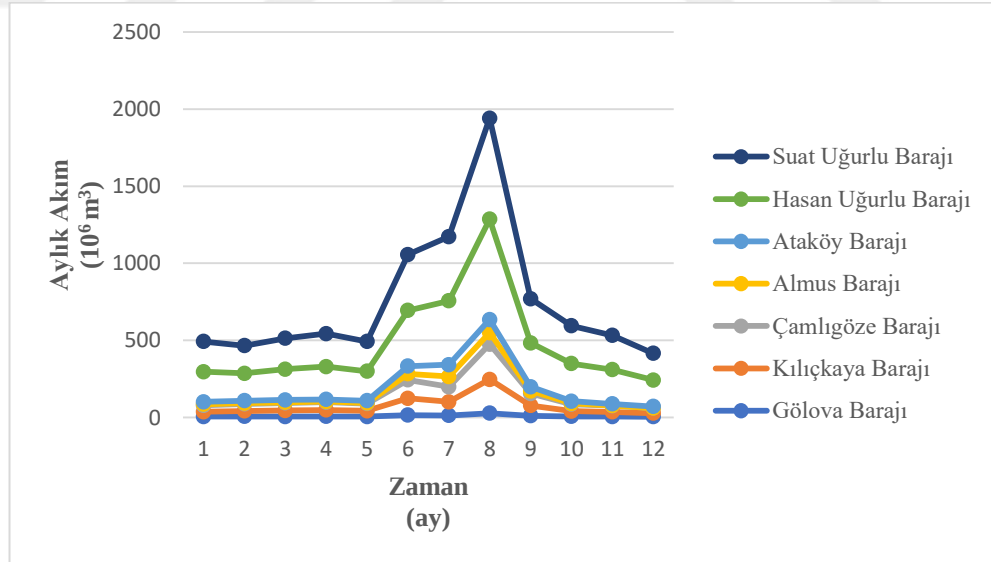
Barajlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Gölova	6,15	6,89	6,49	7,02	6,74	15,70	13,94	27,80	11,22	7,01	6,22	5,04	120,20
Kılıçkaya	31,60	35,60	38,80	41,30	36,60	109,20	87,50	218,70	67,00	34,80	30,20	23,10	864,50
Çamlığöze	41,60	45,60	48,80	51,30	46,60	119,20	97,50	228,70	77,00	44,80	40,20	33,10	874,50
Almus	6,30	5,20	4,80	3,80	4,30	39,50	66,70	74,70	17,20	4,70	0,80	0,10	338,20
Ataköy	16,30	15,20	14,80	13,80	14,30	49,50	76,70	84,70	27,20	14,70	10,80	10,10	348,20
Hasan Uğurlu	194,80	178,30	199,50	212,90	191,50	360,90	414,20	651,10	284,30	243,90	221,60	171,70	3325,00
Suat Uğurlu	195,90	179,30	200,60	214,10	192,60	362,90	416,50	654,70	285,90	245,20	222,90	172,70	3343,00

Şekil 4.24. 2001 yılı kritik dönemde (kurak dönemde) barajların aksına havzasından gelen aylık akım değerleri (10^6 m^3)

1985 ile 2004 yılları arasında gelen toplam akımlar gözetilerek kuraklık açısından kritik dönem belirlenmiştir. Buna göre, kritik dönem olarak, 2001 yılı seçilmiştir. Bu kritik dönemde her bir baraja ait aylık akım gözlem değerleri Şekil 4.24 ve Şekil 4.26'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.25. Barajların aksına havzasından gelen aylık ortalama akımlar



Şekil 4.26. Kritik dönemde barajların aksına havzasından gelen aylık akımlar

5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

5.1. Uzun Süreli İşletme Modelinden Elde Edilen Sonuçlar

5.1.1. Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modele giren veriler

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

1. Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
2. Tablo 5.1’ de, barajlara havzasından gelen kurak döneme ait aylık akımlar
3. Tablo 5.2’ de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
4. Tablo 5.3’ de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum su miktarları

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 (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	1	1	1	1	1	2	1	3	1	1	1	1
Kılıçkaya	3	4	4	4	4	11	9	22	7	3	3	2
Çamlığöze	4	5	5	5	5	12	10	23	8	4	4	3
Almus	1	1	0	0	0	4	7	7	2	0	0	0
Ataköy	2	2	1	1	1	5	8	8	3	1	1	1
Hasan Uğurlu	19	18	20	21	19	36	41	65	28	24	22	17
Suat Uğurlu	20	18	20	21	19	36	42	65	29	25	22	17

Tablo 5.2. Barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri

Barajlar	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	Almus	Ataköy	Hasan U.	Suat U.
$S_i^{\text{Maks}} (10^7 \text{ m}^3)$	7	140	6	95	0	102	18
$S_i^{\text{Min}} (10^7 \text{ m}^3)$	1	37	3	15	0	38	15

Tablo 5.3. Barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarları

Barajlar	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	Almus	Ataköy	Hasan U.	Suat U.
Q_i^{Maks} (10^7 m ³ /sn)	27	34	33	10	7	108	57

5.1.2 Güvenilir gücün en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Güvenilir gücün enbüyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Senaryo 1 için;

2 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

1. Güvenilir güç, $P_G=8,66$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=27,65$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}= 111,79$ MW ve yinleme sayısı, ICOUNT= 9
2. Tablo 5.4’ de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları
3. Tablo 5.5’ da, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları
4. Tablo 5.6’ de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri
5. Tablo 5.7’ de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri
6. Şekil 5.1’ de, barajlardaki, aylık minimum işletme seviyeleri
7. Şekil 5.2’ de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.4. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

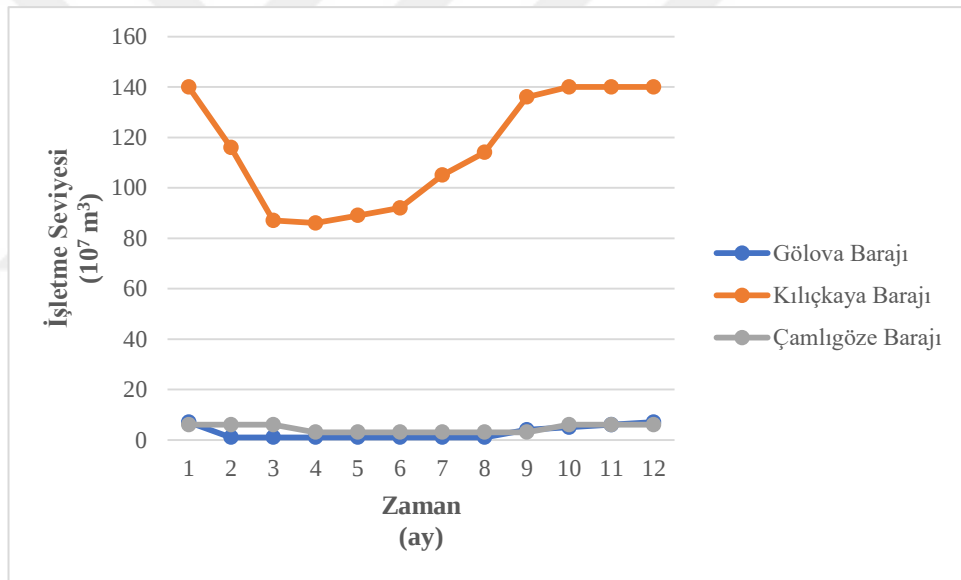
Barajlar (10^7 m ³)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	1
Kılıçkaya	34	34	6	2	2	0	1	0	3	3	3	3
Çamlığöze	33	33	14	7	7	12	11	23	8	7	7	6

Tablo 5.5. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılıçkaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çamlığöze	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.6. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

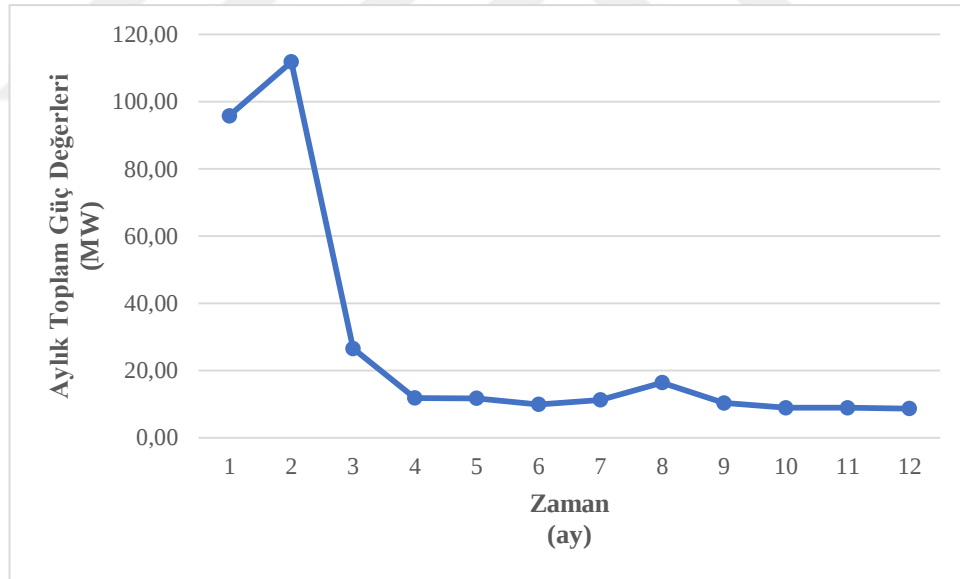
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	1	1	1	1	1	1	1	4	5	6	7
Kılıçkaya	140	116	87	86	89	92	105	114	136	140	140	140
Çamlığöze	6	6	6	3	3	3	3	3	3	6	6	6



Şekil 5.1. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.7. 1.senaryo 2 numaralı hattki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	MW
Ekim	3,47	78,33	13,95	95,76
Kasım	0,68	97,15	13,95	111,79
Aralık	0,68	18,49	7,36	26,53
Ocak	0,68	6,14	4,98	11,80
Şubat	0,68	6,06	4,98	11,72
Mart	1,37	0,00	8,53	9,90
Nisan	0,68	2,71	7,82	11,21
Mayıs	0,00	0,00	16,35	16,35
Haziran	0,00	6,11	4,20	10,31
Temmuz	0,00	5,93	2,96	8,89
Ağustos	0,00	5,93	2,96	8,89
Eylül	0,19	5,93	2,54	8,66



Şekil 5.2. 1.senaryo 2 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

3 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

8. Güvenilir güç, $P_G = 0,75$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 3,27$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 12,63$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT = 6$

9. Tablo 5.8' de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

10. Tablo 5.9’ da, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

11. Tablo 5.10’ da, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri

12. Tablo 5.11’ de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

13. Şekil 5.3’ de, barajlardaki, aylık minimum işletme seviyeleri

14. Şekil 5.4’ de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.8. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

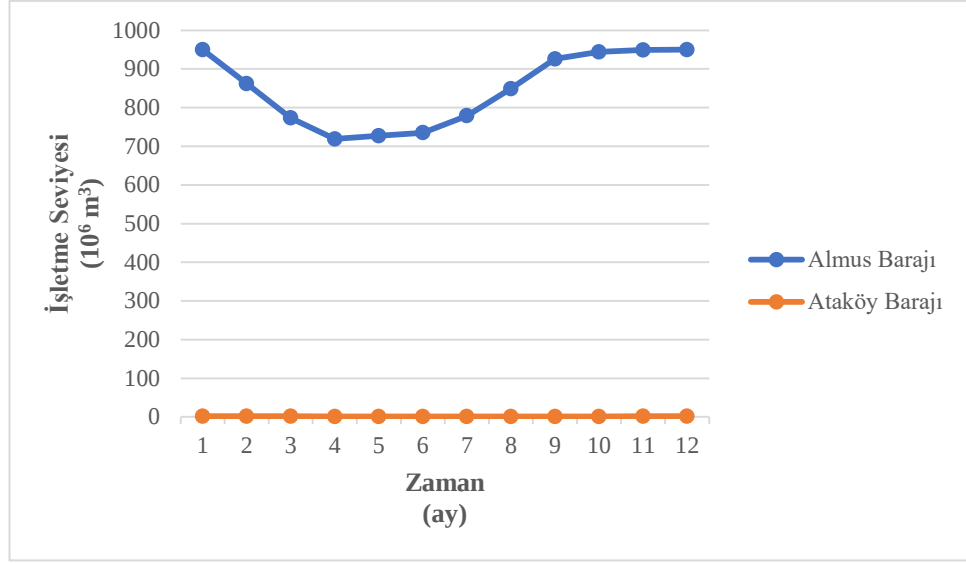
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	103	103	68	5	5	5	6	7	8	9	9	9
Ataköy	70	70	70	6	6	6	7	8	9	9	10	10

Tablo 5.9. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ataköy	34	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.10. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

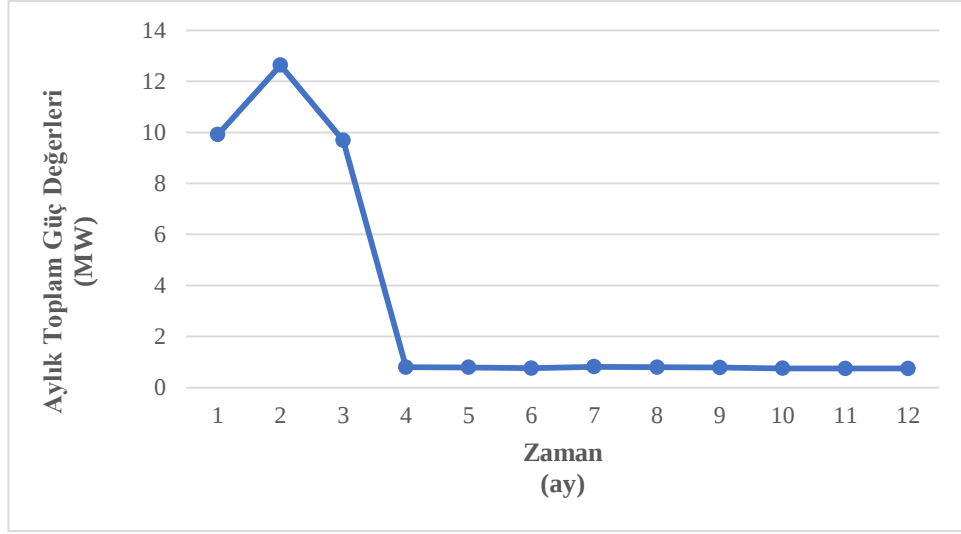
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	950	862	773	719	727	735	779	849	926	944	949	950
Ataköy	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2



Şekil 5.3. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.11. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	Almus	Ataköy	MW
Ekim	9,69	0,22	9,91
Kasım	12,41	0,22	12,63
Aralık	9,47	0,22	9,69
Ocak	0,72	0,07	0,80
Şubat	0,71	0,07	0,79
Mart	0,68	0,07	0,76
Nisan	0,73	0,09	0,82
Mayıs	0,70	0,10	0,80
Haziran	0,68	0,11	0,79
Temmuz	0,72	0,03	0,75
Ağustos	0,72	0,03	0,75
Eylül	0,72	0,03	0,75



Şekil 5.4. 1.senaryo 3 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

1 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

15. Güvenilir güç, $P_G=105,19$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=229,72$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=430,75$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT=6$

16. Tablo 5.12’ de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

17. Tablo 5.13’ de, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

18. Tablo 5.14’ de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri

19. Tablo 5.15’ de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

20. Şekil 5.5’ de, barajlardaki, aylık minimum işletme seviyeleri

21. Şekil 5.6’ de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.12. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

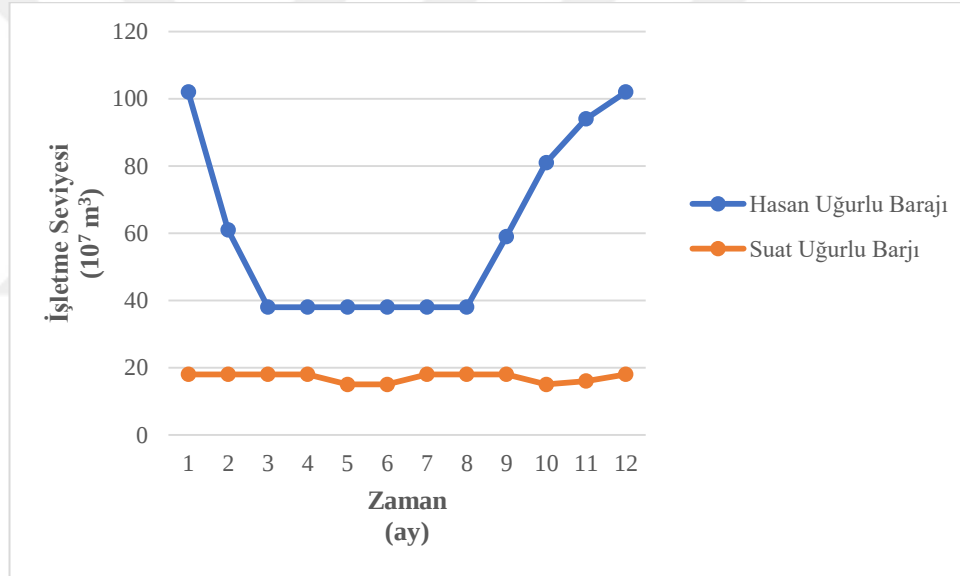
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Hasan U.	108	90	41	29	27	49	53	68	15	19	22	24
Suat U.	57	57	57	53	46	57	57	57	47	43	42	41

Tablo 5.13. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Hasan U.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suat U.	71	51	4	0	0	25	38	76	0	0	0	0

Tablo 5.14. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

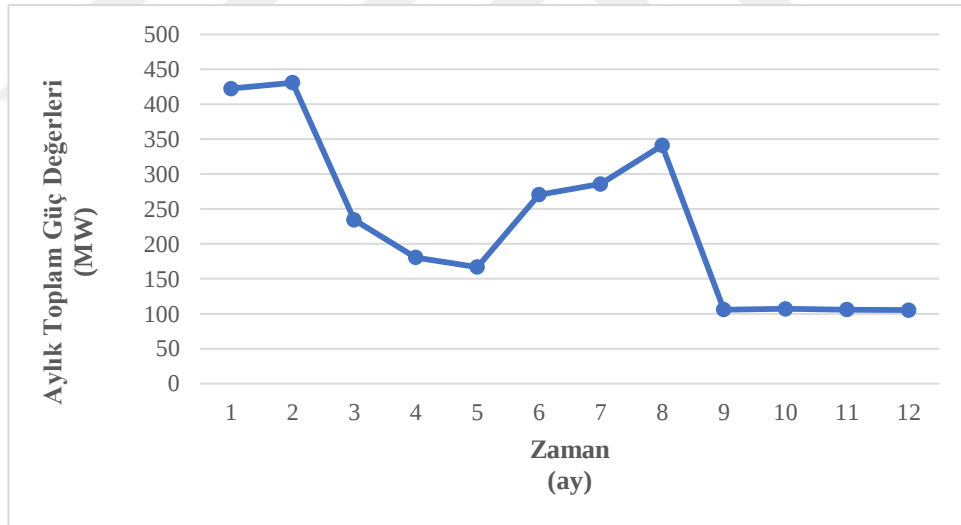
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Hasan U.	102	61	38	38	38	38	38	38	59	81	94	102
Suat U.	18	18	18	18	15	15	18	18	18	15	16	18



Şekil 5.5. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.15. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajların kurak dönemde aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	Hasan U.	Suat U.	MW
Ekim	363,22	59,10	422,33
Kasım	371,65	59,10	430,75
Aralık	175,41	59,10	234,51
Ocak	124,07	56,58	180,65
Şubat	115,51	51,42	166,94
Mart	209,63	60,85	270,49
Nisan	226,75	59,10	285,85
Mayıs	281,84	59,10	340,94
Haziran	55,70	50,18	105,88
Temmuz	60,03	47,07	107,10
Ağustos	61,13	44,84	105,97
Eylül	62,68	42,51	105,19



Şekil 5.6. 1.senaryo 1 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Sistemdeki toplam;

22. Güvenilir güç, $P_G = 114,60$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 260,63$ MW, maksimum güç,

$P_{Maks} = 555,17$ MW

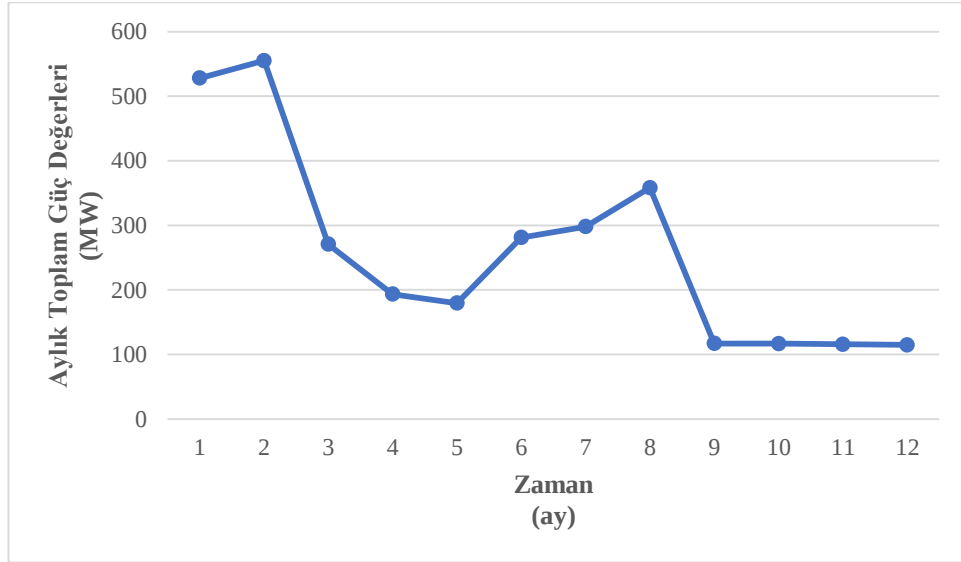
23. Tablo 5.16' da, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

24. Şekil 5.7’ de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.16. 1.senaryo sistemdeki barajların kurak dönemdeki, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	2 numaralı	3 numaralı	1 numaralı	MW
Ekim	95,76	9,91	422,33	527,99
Kasım	111,79	12,63	430,75	555,17
Aralık	26,53	9,69	234,51	270,73
Ocak	11,80	0,80	180,65	193,25
Şubat	11,72	0,79	166,94	179,44
Mart	9,90	0,76	270,49	281,14
Nisan	11,21	0,82	285,85	297,88
Mayıs	16,35	0,80	340,94	358,09
Haziran	10,31	0,79	105,88	116,98
Temmuz	8,89	0,75	107,10	116,75
Ağustos	8,89	0,75	105,97	115,61
Eylül	8,66	0,75	105,19	114,60



Şekil 5.7. 1.senaryo sistemdeki kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Senaryo 2 için;

1 ve 2 numaralı hatların çalıştırılmasıyla;

1. Güvenilir güç, $P_G = 113,85$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 255,70$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 542,54$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT=15$
2. Tablo 5.17' de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları
3. Tablo 5.18' de, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları
4. Tablo 5.19' de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri
5. Tablo 5.20' de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri
6. Şekil 5.10' de, barajların aylık minimum işletme seviyeleri
7. Şekil 5.11' de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.17. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

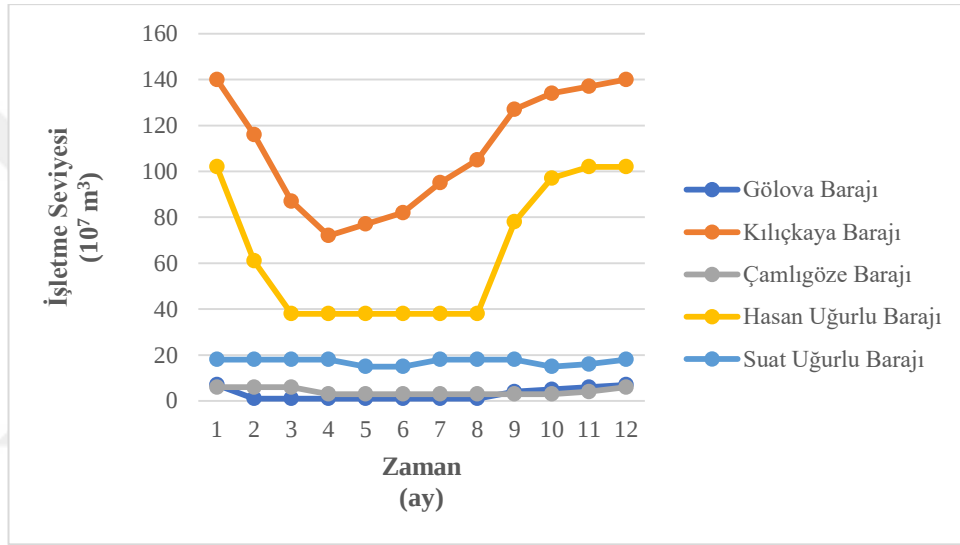
Barajlar ($10^7 m^3$)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	1
Kılıçkaya	34	34	20	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Çamlığöze	33	33	28	5	5	12	10	23	8	3	2	6
Hasan U.	108	90	55	27	25	49	52	49	18	23	25	24
Suat U.	57	57	57	51	44	57	57	57	50	47	45	41

Tablo 5.18. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar ($10^7 m^3$)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılıçkaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çamlığöze	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hasan U.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suat U.	71	51	18	0	0	25	37	57	0	0	0	0

Tablo 5.19. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

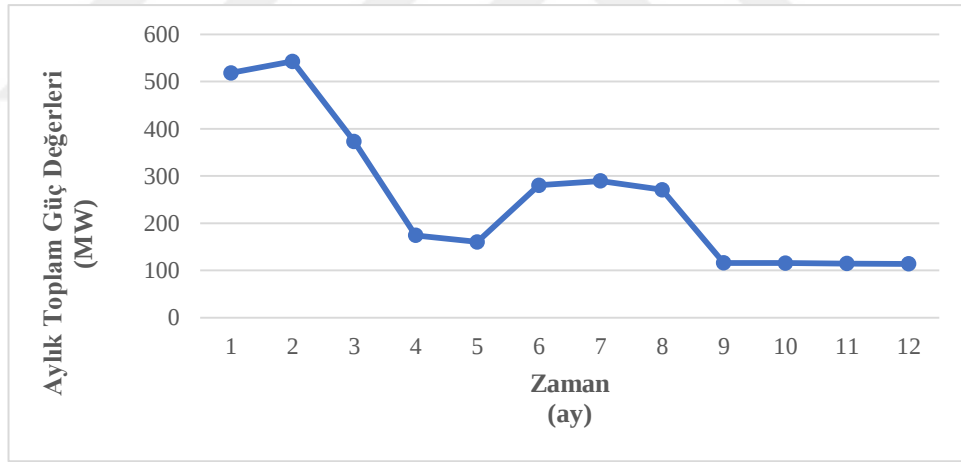
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	1	1	1	1	1	1	1	4	5	6	7
Kılıçkaya	140	116	87	72	77	82	95	105	127	134	137	140
Çamlığöze	6	6	6	3	3	3	3	3	3	3	4	6
Hasan U.	102	61	38	38	38	38	38	38	78	97	102	102
Suat U.	18	18	18	18	15	15	18	18	18	15	16	18



Şekil 5.8. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.20. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar					Toplam
	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	Hasan U.	Suat U.	MW
Ekim	3,47	78,33	13,95	363,22	59,10	518,08
Kasım	0,68	97,15	13,95	371,65	59,10	542,54
Aralık	0,68	63,26	14,71	235,30	59,10	373,06
Ocak	0,68	0,00	3,55	115,51	54,45	174,20
Şubat	0,68	0,00	3,55	106,96	49,19	160,38
Mart	1,37	0,00	8,53	209,63	60,85	280,38
Nisan	0,68	0,00	7,11	222,47	59,10	289,36
Mayıs	0,00	0,00	16,35	195,42	59,10	270,87
Haziran	0,00	0,00	5,69	56,87	53,38	115,94
Temmuz	0,00	0,00	1,86	62,01	51,45	115,32
Ağustos	0,00	0,00	1,05	65,29	48,04	114,38
Eylül	0,19	5,93	2,54	62,68	42,51	113,85



Şekil 5.9. 2.senaryo 1-2 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

3 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

8. Güvenilir güç, $P_G = 0,75$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 3,27$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 12,63$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT=4$

9. Tablo 5.21' de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

10. Tablo 5.22' de, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

11. Tablo 5.23’ da, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri
12. Tablo 5.24’ de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri
13. Şekil 5.8’ de, barajların aylık minimum işletme seviyeleri
14. Şekil 5.9’ de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.21. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

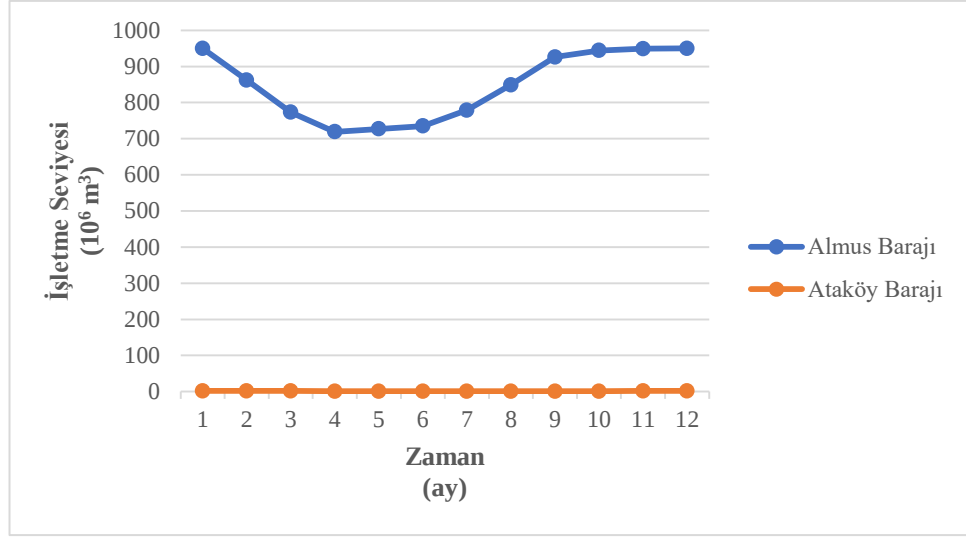
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	103	103	68	5	5	5	6	7	8	9	9	9
Ataköy	70	70	70	6	6	6	7	8	9	9	10	10

Tablo 5.22. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ataköy	34	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.23. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

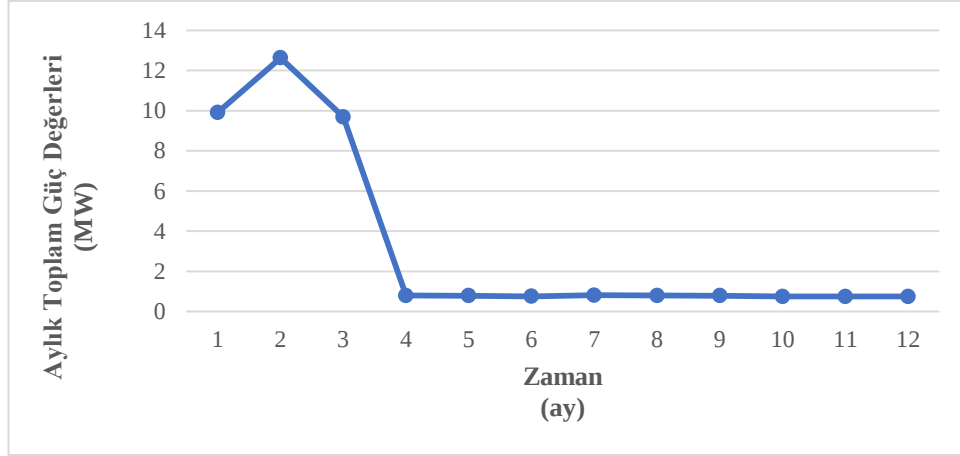
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	950	862	773	719	727	735	779	849	926	944	949	950
Ataköy	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2



Şekil 5.10. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.24. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	Almus	Ataköy	MW
Ekim	9,69	0,22	9,91
Kasım	12,41	0,22	12,63
Aralık	9,47	0,22	9,69
Ocak	0,72	0,07	0,80
Şubat	0,71	0,07	0,79
Mart	0,68	0,07	0,76
Nisan	0,73	0,09	0,82
Mayıs	0,70	0,10	0,80
Haziran	0,68	0,11	0,79
Temmuz	0,72	0,03	0,75
Ağustos	0,72	0,03	0,75
Eylül	0,72	0,03	0,75



Şekil 5.11. 2.senaryo 3 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Sistemdeki toplam;

15. Güvenilir güç, $P_G = 114,60$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 258,97$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 555,17$ MW

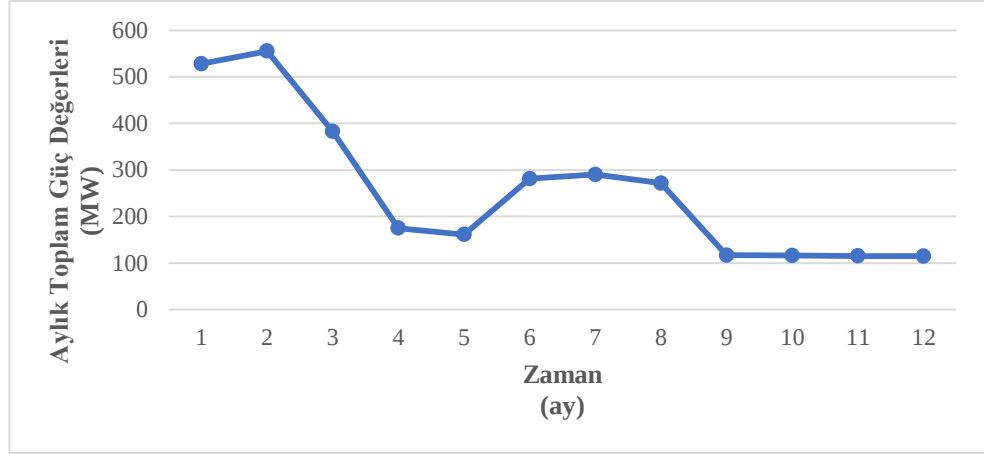
16. Tablo 5.25' de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

17. Şekil 5.12' de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.25. 2.senaryo sistemdeki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	1-2 numaralı	3 numaralı	MW
Ekim	518,08	9,91	527,99
Kasım	542,54	12,63	555,17
Aralık	373,06	9,69	382,74
Ocak	174,20	0,80	174,99
Şubat	160,38	0,79	161,17
Mart	280,38	0,76	281,14
Nisan	289,36	0,82	290,18
Mayıs	270,87	0,80	271,67
Haziran	115,94	0,79	116,73
Temmuz	115,32	0,75	116,07
Ağustos	114,38	0,75	115,13
Eylül	113,85	0,75	114,60



Şekil 5.12. 2.senaryo sistemdeki kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Senaryo 3 için;

1 ve 3 numaralı hatların çalıştırılmasıyla;

1. Güvenilir güç, $P_G = 110,48$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 241,02$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 446,09$ MW ve yinleme sayısı, $ICOUNT = 12$
2. Tablo 5.26' de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları
3. Tablo 5.27' de, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları
4. Tablo 5.28' de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri
5. Tablo 5.29' da, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri
6. Şekil 5.13' de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri
7. Şekil 5.14' da, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.26. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

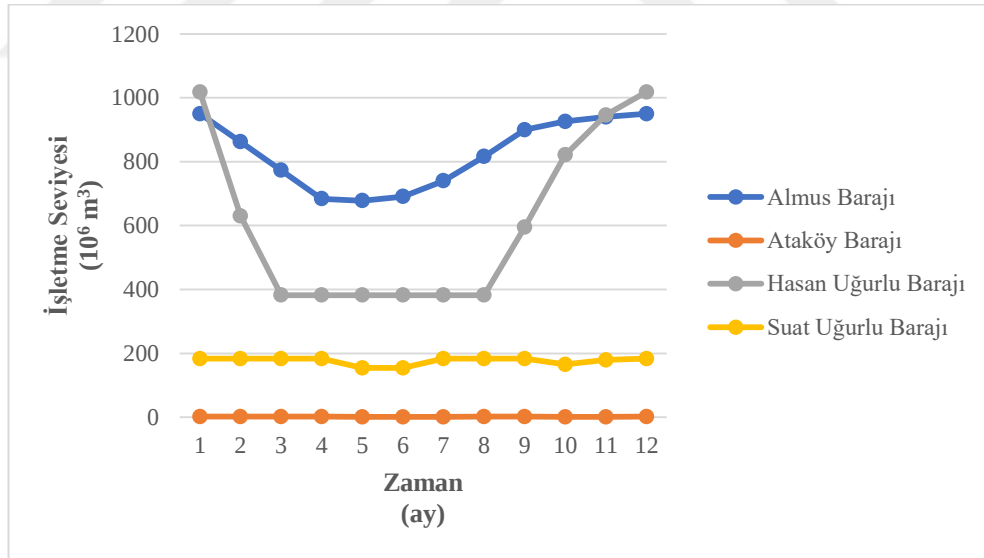
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	103	103	103	19	0	0	0	0	0	0	0	9
Ataköy	70	70	70	34	14	50	70	70	28	15	10	19
Hasan U.	1082	934	458	317	276	531	600	753	166	204	230	251
Suat U.	573	573	573	560	469	573	573	573	470	435	449	424

Tablo 5.27. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ataköy	49	48	48	0	0	0	6	15	0	0	0	0
Hasan U.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suat U.	705	540	86	0	0	292	444	835	0	0	0	0

Tablo 5.28. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda kurak dönemde, aylık minimum işletme seviyeleri

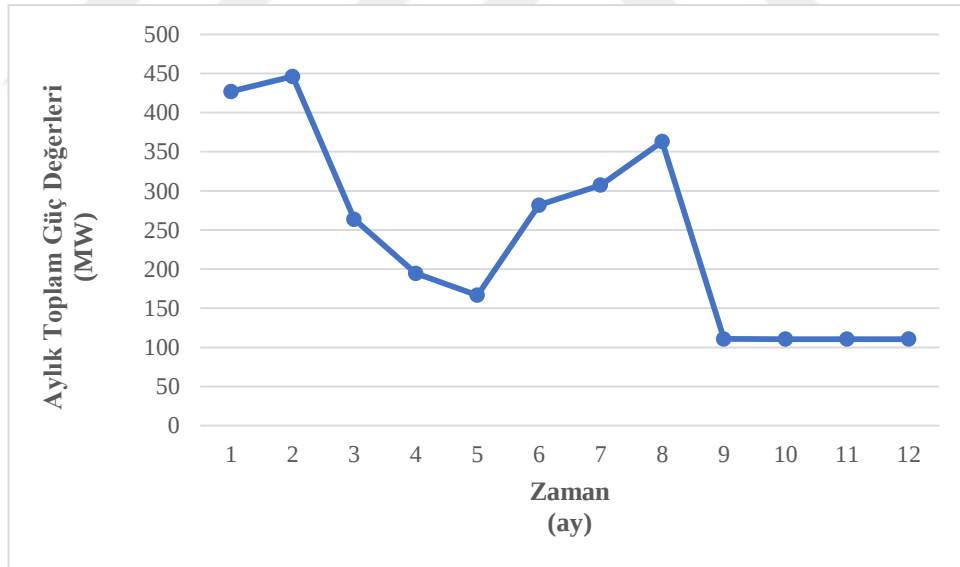
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	950	862	773	684	678	691	740	816	900	926	940	950
Ataköy	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2
Hasan U.	1018	630	382	382	382	382	382	382	595	821	946	1018
Suat U.	183	183	183	183	154	154	183	183	183	165	179	183



Şekil 5.13. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.29. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar				Toplam
	Almus	Ataköy	Hasan U.	Suat U.	MW
Ekim	9,69	0,22	356,97	60,15	427,03
Kasım	12,41	0,22	373,31	60,15	446,09
Aralık	14,76	0,22	188,55	60,15	263,68
Ocak	2,93	0,10	130,50	61,02	194,55
Şubat	0,00	0,17	113,62	52,73	166,52
Mart	0,00	0,62	218,60	62,43	281,65
Nisan	0,00	0,22	247,01	60,15	307,37
Mayıs	0,00	0,22	302,59	60,15	362,95
Haziran	0,00	0,09	60,07	50,58	110,74
Temmuz	0,00	0,19	63,33	47,05	110,57
Ağustos	0,00	0,03	63,10	47,41	110,54
Eylül	0,72	0,06	65,20	44,51	110,48



Şekil 5.14. 3.senaryo 1-3 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

2 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

8. Güvenilir güç, $P_G = 8,66$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 27,65$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 111,79$ MW ve yinleme sayısı, $ICOUNT = 9$

9. Tablo 5.30' de, barajlardan kurak dönemde, enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

10. Tablo 5.31' da, barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

11. Tablo 5.32' de, barajlardaki aylık minimum işletme seviyeleri

12. Tablo 5.33' de, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

13. Şekil 5.15' de, barajlardaki, aylık minimum işletme seviyeleri

14. Şekil 5.16' de, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.30. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

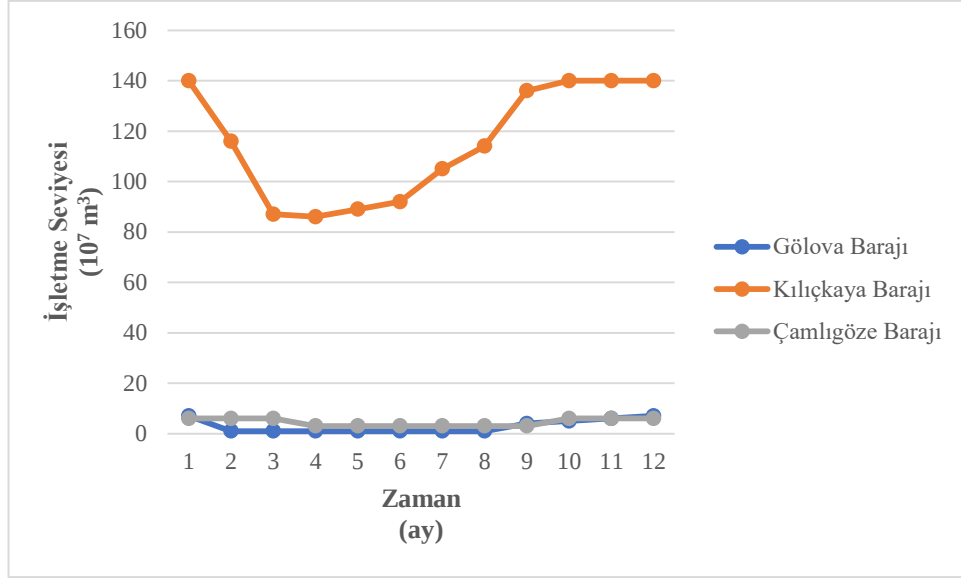
Barajlar (10^7 m ³)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	1
Kılıçkaya	34	34	6	2	2	0	1	0	3	3	3	3
Çamlığöze	33	33	14	7	7	12	11	23	8	7	7	6

Tablo 5.31. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan kurak dönemde, dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m ³)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılıçkaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çamlığöze	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.32. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

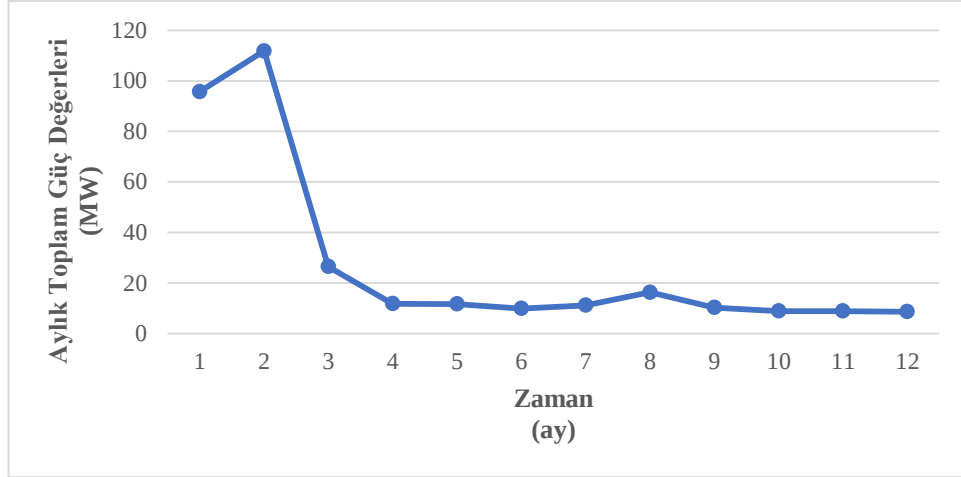
Barajlar (10^7 m ³)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	1	1	1	1	1	1	1	4	5	6	7
Kılıçkaya	140	116	87	86	89	92	105	114	136	140	140	140
Çamlığöze	6	6	6	3	3	3	3	3	3	6	6	6



Şekil 5.15. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık minimum işletme seviyeleri

Tablo 5.33. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	MW
Ekim	3,47	78,33	13,95	95,76
Kasım	0,68	97,15	13,95	111,79
Aralık	0,68	18,49	7,36	26,53
Ocak	0,68	6,14	4,98	11,80
Şubat	0,68	6,06	4,98	11,72
Mart	1,37	0,00	8,53	9,90
Nisan	0,68	2,71	7,82	11,21
Mayıs	0,00	0,00	16,35	16,35
Haziran	0,00	6,11	4,20	10,31
Temmuz	0,00	5,93	2,96	8,89
Ağustos	0,00	5,93	2,96	8,89
Eylül	0,19	5,93	2,54	8,66



Şekil 5.16. 3.senaryo 2 numaralı hattın kurak dönemde, aylık toplam güç değerleri

Sistemdeki toplam;

15. Güvenilir güç, $P_G = 119,14$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 268,67$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 557,88$ MW

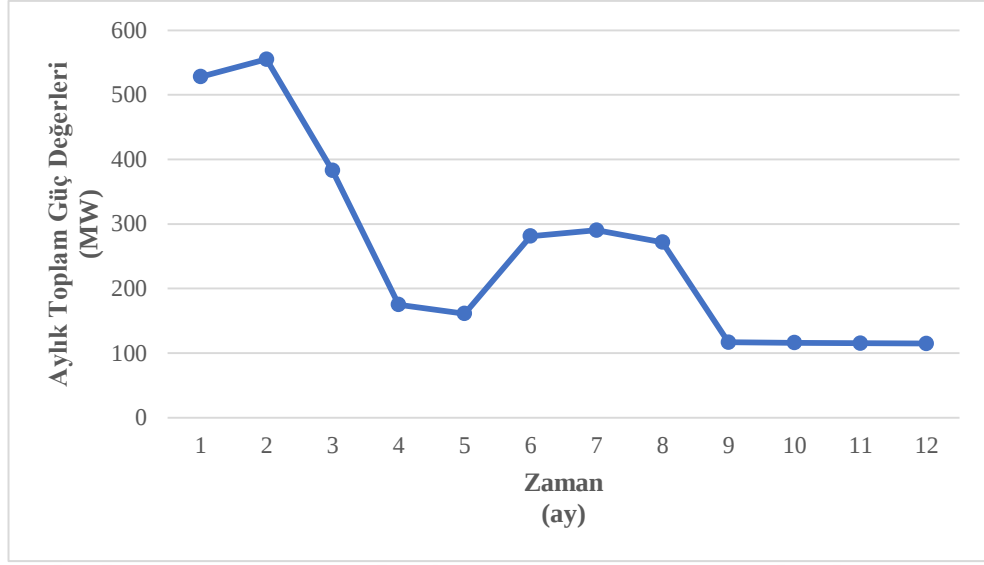
16. Tablo 5.34’ da, barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

17. Şekil 5.17’ da, kurak dönemde, toplam aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.34. 3.senaryo sistemdeki barajların kurak dönemde, aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	1-3 numaralı	2 numaralı	MW
Ekim	427,03	95,76	522,79
Kasım	446,09	111,79	557,88
Aralık	263,68	26,53	290,21
Ocak	194,55	11,80	206,35
Şubat	166,52	11,72	178,24
Mart	281,65	9,90	291,55
Nisan	307,37	11,21	318,58
Mayıs	362,95	16,35	379,30
Haziran	110,74	10,31	121,05
Temmuz	110,57	8,89	119,46
Ağustos	110,54	8,89	119,44
Eylül	110,48	8,66	119,14



Şekil 5.17. 3.senaryo sistemdeki 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 $P_G=119,14$ MW olarak 3.senaryodan elde edilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nde barajların güvenilir gücün bulunması için Denklem (5.1)' deki gibi; (III. DSİ Hidroloji Semineri, 1979)

$$P_G = 3,08 \cdot 10^{-3} \left(\frac{V_a}{L} + q_{\min} \right) \left(h_{\min} + \frac{2}{3} h_a \right) \quad (5.1)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Burada;

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

L : Kurak dönem ay sayısı (12 ay)

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

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

h_a : Aktif hacim yüksekliği (m)

göstermektedir.

Tablo 5.35. Yeşilırmak Havza’sındaki 1-3 numaralı hattaki barajların güvenilir güç değerleri, P_G , (MW)

Barajlar	$V_a (10^6 \text{ m}^3)$	$q_{\min} (10^6 \text{ m}^3)$	$h_{\min} \text{ (m)}$	$h_a \text{ (m)}$	$P_G \text{ (MW)}$
Almus	798,46	0,10	35,77	37	12
Ataköy	1,11	10,10	18,50	3	1
Hasan U.	636,07	132,80	88,50	40	66
Suat U.	28,10	133,50	30,50	3	14
Toplam					92,58

Tablo 5.36. Yeşilırmak Havza’sındaki 2 numaralı hattaki barajların güvenilir güç değerleri, P_G , (MW)

Barajlar	$V_a (10^6 \text{ m}^3)$	$q_{\min} (10^6 \text{ m}^3)$	$h_{\min} \text{ (m)}$	$h_a \text{ (m)}$	$P_G \text{ (MW)}$
Gölova	57,68	4,75	5,3	14	0,43
Kılıçkaya	1033	4,9	71	29	25,31
Çamlığöze	30,13	14,9	21,7	6,5	1,40
Toplam					27,14

Tablo 5.35 ve 5.36’ da bu yaklaşım kullanılarak barajlara ait güvenilir güç değerleri verilmektedir. Buna göre sistemdeki toplam güvenilir güç $P_G=119,72$ MW olmaktadır. Buradan, bu model ile elde edilen güvenilir güç $P_G=119,14$ MW, Denklem (5.1) kullanılarak elde edilen güvenilir güç ile yakındır.

5.1.3 Toplam enerjinin en büyükleme modeline giren veriler

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

1. Başlangıç işletme politikası, baraj sayısı ve dönem sayısı
2. Tablo 5.37’ de, barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar
3. Tablo 5.2’ de, barajlardaki minimum ve maksimum işletme seviyeleri
4. Tablo 5.3’ de, barajlardan enerji üretimi için bırakılacak maksimum akım miktarı

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 5.37. Barajlara havzasından gelen aylık ortalama akımlar

Barajlar	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	1	1	1	1	1	2	4	4	2	1	1	1
Kılıçkaya	4	6	8	6	7	17	46	40	17	6	4	3
Çamlığöze	5	7	9	7	8	18	47	41	18	7	5	4
Almus	1	2	3	2	3	8	18	12	5	2	1	0
Ataköy	2	3	4	3	4	9	19	13	6	3	2	1
Hasan U.	23	30	34	32	36	72	127	111	57	32	24	19
Suat U.	23	30	34	33	36	72	128	111	57	32	24	19

5.1.4 Toplam enerjinin en büyüklenmesinde modelden çıkan veriler

Toplam enerjinin en büyüklenmesi için yapılan uzun süreli işletme neticesinde;

Senaryo 1 için;

2 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

1. Minimum güç, $P_{Min}=8,89$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=64,92$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=182,38$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT=9$
2. Tablo 5.38’ de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları
3. Tablo 5.39’ da, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,
4. Tablo 5.40’ da, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,
5. Şekil 5.18’ de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,
6. Şekil 5.19’ de, toplam aylık güç değeri
7. Tablo 5.41’ de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.38. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

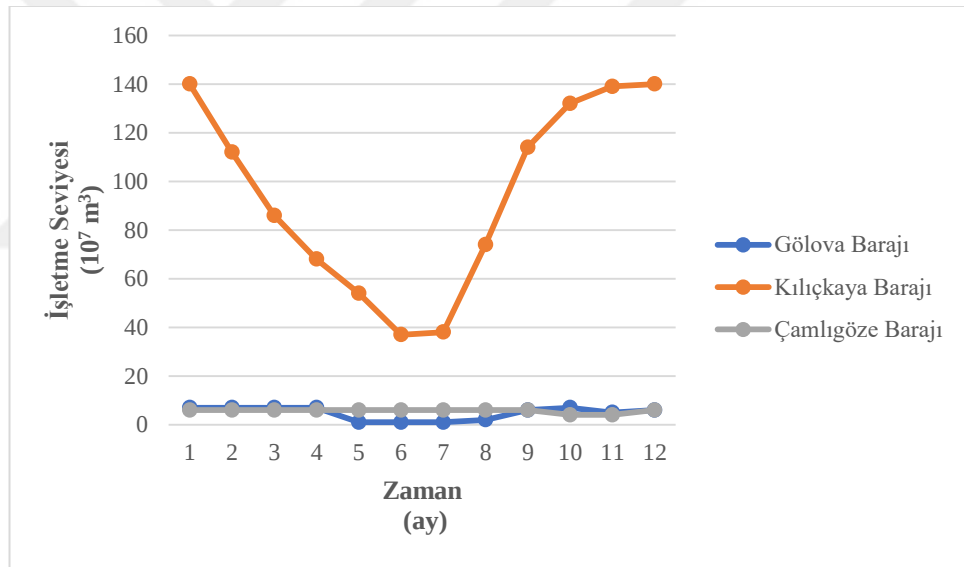
Barajlar (10^7 m ³)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	1	1	1	7	1	2	3	0	1	3	0	0
Kılıçkaya	33	33	27	27	25	18	13	0	0	2	3	3
Çamlığöze	33	33	33	33	33	33	33	33	20	9	6	7

Tablo 5.39. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılıçkaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çamlığöze	5	7	3	1	0	3	27	8	0	0	0	0

Tablo 5.40. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

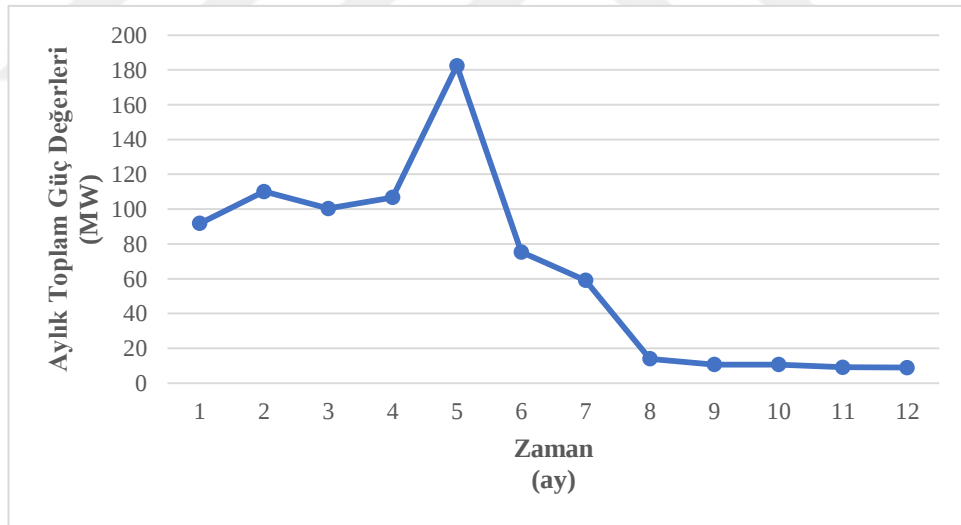
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	7	7	7	1	1	1	2	6	7	5	6
Kılıçkaya	140	112	86	68	54	37	38	74	114	132	139	140
Çamlığöze	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	6



Şekil 5.18. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

Tablo 5.41. 1.senaryo 2 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	MW
Ekim	0,19	77,68	13,95	91,82
Kasım	0,19	95,96	13,95	110,11
Aralık	0,19	86,21	13,95	100,35
Ocak	3,47	89,28	13,95	106,70
Şubat	0,68	83,53	98,17	182,38
Mart	1,37	59,96	13,95	75,28
Nisan	1,90	43,24	13,95	59,09
Mayıs	0,00	0,00	13,95	13,95
Haziran	0,19	0,00	10,51	10,70
Temmuz	0,91	4,18	5,59	10,69
Ağustos	0,00	5,93	3,15	9,09
Eylül	0,00	5,93	2,96	8,89



Şekil 5.19. 1.senaryo 2 numaralı hattın aylık toplam güç değerleri

3 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

8. Minimum güç, $P_{Min}=0,75$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=7,80$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=18,06$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT=6$

9. Tablo 5.42' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

10. Tablo 5.43' de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

11. Tablo 5.44' de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

12. Şekil 5.20' de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,

13. Şekil 5.21' de, toplam aylık güç değeri

14. Tablo 5.45' de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.42. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

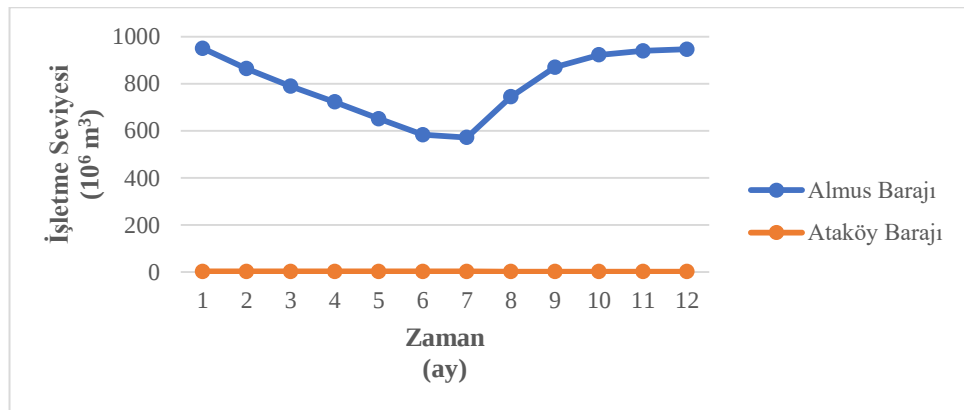
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	103	103	103	103	103	103	11	6	7	8	8	9
Ataköy	70	70	70	70	70	70	13	7	8	9	9	9

Tablo 5.43. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ataköy	34	34	34	34	34	34	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.44. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

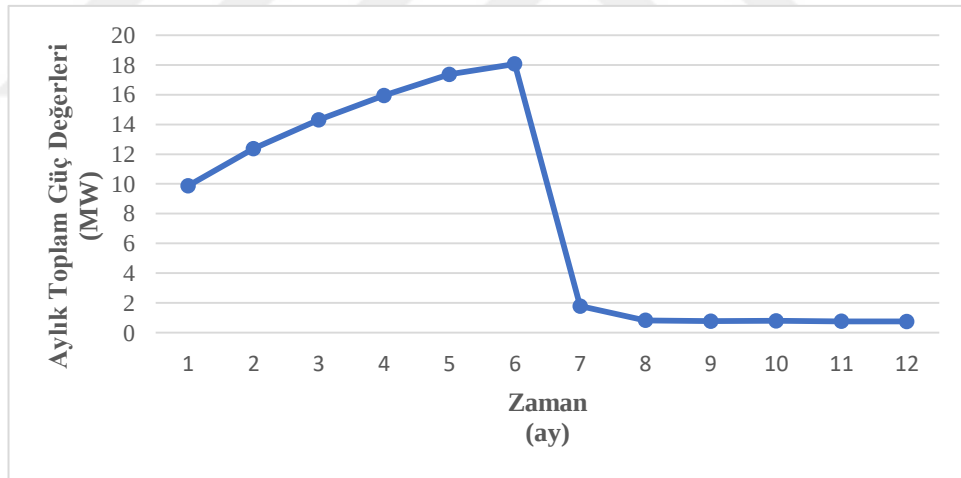
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	950	864	789	722	651	583	571	744	870	922	939	946
Ataköy	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1



Şekil 5.20. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

Tablo 5.45. 1.senaryo 3 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	Almus	Ataköy	MW
Ekim	9,66	0,22	9,88
Kasım	12,15	0,22	12,37
Aralık	14,09	0,22	14,31
Ocak	15,73	0,22	15,95
Şubat	17,15	0,22	17,36
Mart	17,84	0,22	18,06
Nisan	1,75	0,04	1,79
Mayıs	0,74	0,09	0,83
Haziran	0,68	0,10	0,78
Temmuz	0,69	0,11	0,80
Ağustos	0,66	0,11	0,77
Eylül	0,72	0,03	0,75



Şekil 5.21. 1.senaryo 3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri

1 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

15. Minimum güç, $P_{Min}=105,56$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=347,11$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=515,45$ MW ve yineleme sayısı, ICOUNT=4

16. Tablo 5.46' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

17. Tablo 5.47' de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

18. Tablo 5.48' de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

19. Şekil 5.22' de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,

20. Şekil 5.23’ de, toplam aylık güç değeri

21. Tablo 5.49’ de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.46. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

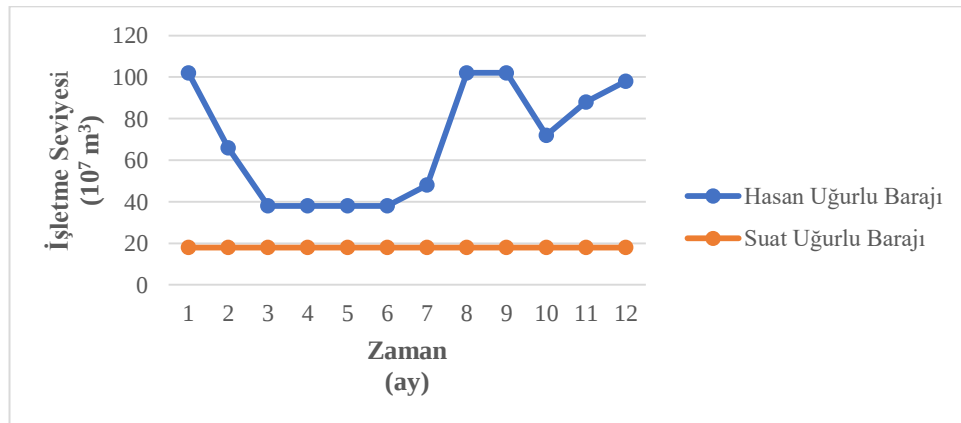
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Hasan U.	107	108	80	76	79	108	108	108	108	26	21	23
Suat U.	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	45	42

Tablo 5.47. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Hasan U.	0	0	0	0	0	0	26	45	0	0	0	0
Suat U.	73	81	57	52	58	123	205	207	108	1	0	0

Tablo 5.48. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

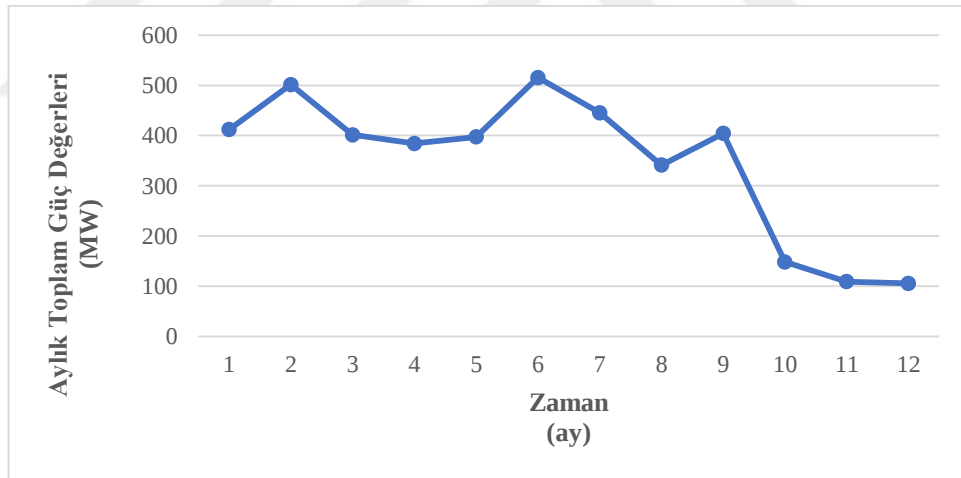
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Hasan U.	102	66	38	38	38	38	48	102	102	72	88	98
Suat U.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18



Şekil 5.22. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

Tablo 5.49. 1.senaryo 1 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	Hasan U.	Suat U.	MW
Ekim	352,83	59,10	411,93
Kasım	442,50	59,10	501,61
Aralık	342,26	59,10	401,36
Ocak	325,15	59,10	384,25
Şubat	337,98	59,10	397,08
Mart	456,34	59,10	515,45
Nisan	386,28	59,10	445,39
Mayıs	282,04	59,10	341,15
Haziran	345,05	59,10	404,16
Temmuz	89,10	59,10	148,20
Ağustos	62,49	46,66	109,15
Eylül	62,01	43,55	105,56



Şekil 5.23. 1. Senaryo 1 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri

Sistemdeki toplam;

22. Minimum güç, $P_{Min}=115,20$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=412,81$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=624,08$ MW

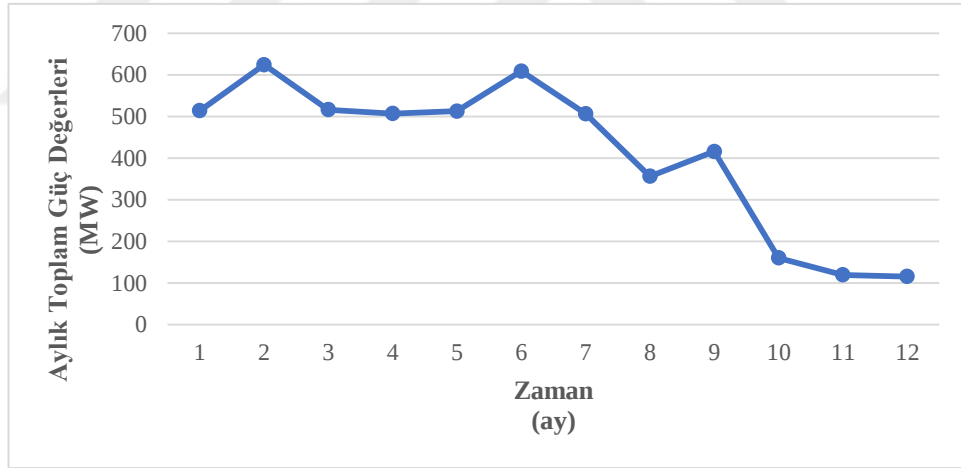
23. Şekil 5.24' de, toplam aylık güç değeri

24. Tablo 5.50' de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.50. 1. Senaryo sistemdeki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	2 numaralı	3 numaralı	1 numaralı	MW
Ekim	91,82	9,88	411,93	513,63
Kasım	110,11	12,37	501,61	624,08
Aralık	100,35	14,31	401,36	516,03
Ocak	106,70	15,95	384,25	506,90
Şubat	98,17	17,36	397,08	512,61
Mart	75,28	18,06	515,45	608,79
Nisan	59,09	1,79	445,39	506,26
Mayıs	13,95	0,83	341,15	355,93
Haziran	10,70	0,78	404,16	415,63
Temmuz	10,69	0,80	148,20	159,69
Ağustos	9,09	0,77	109,15	119,00
Eylül	8,89	0,75	105,56	115,20



Şekil 5.24. 1.senaryo sistemdeki aylık toplam güç değerleri

Senaryo 2 için;

1 ve 2 numaralı hatların çalıştırılmasıyla;

25. Minimum güç, $P_{Min} = 113,93$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 411,92$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 563,74$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT = 20$

26. Tablo 5.51' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

27. Tablo 5.52' de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

28. Tablo 5.53' de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

29. Şekil 5.25’ de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,

30. Şekil 5.26’ de, toplam aylık güç değeri

31. Tablo 5.54’ de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.51. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

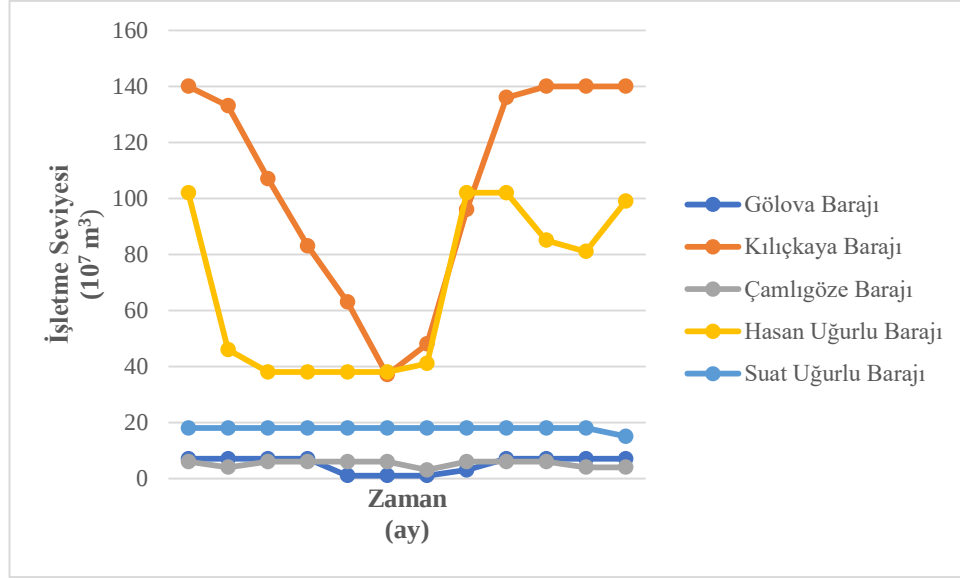
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	1	1	1	7	1	2	2	0	2	1	1	1
Kılıçkaya	12	33	33	33	34	8	0	0	15	7	5	4
Çamlığöze	19	33	33	33	33	29	33	33	33	16	10	6
Hasan U.	108	86	86	82	88	108	108	108	108	53	17	23
Suat U.	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	44	39

Tablo 5.52. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılıçkaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çamlığöze	0	5	9	7	9	0	11	8	0	0	0	0
Hasan U.	0	0	0	0	0	0	3	45	0	0	0	0
Suat U.	74	59	63	58	67	123	182	207	108	28	0	0

Tablo 5.53. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

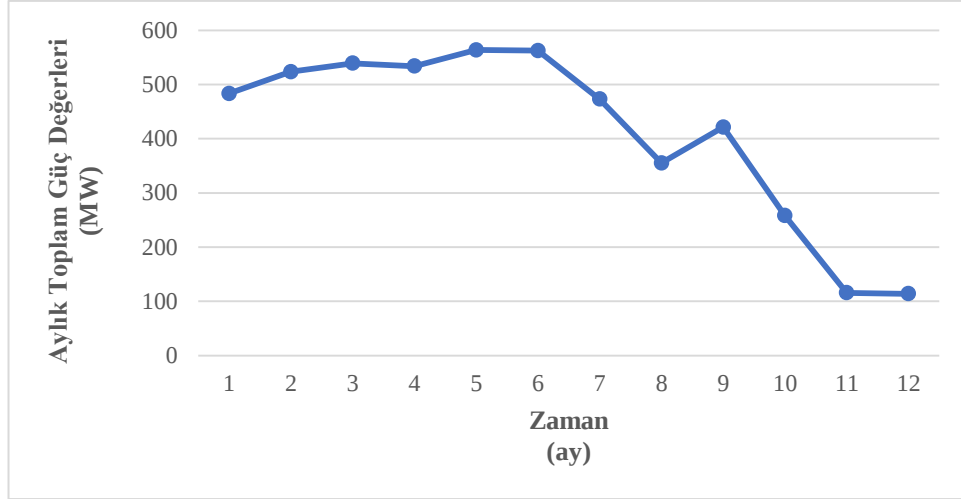
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	7	7	7	1	1	1	3	7	7	7	7
Kılıçkaya	140	133	107	83	63	37	48	96	136	140	140	140
Çamlığöze	6	4	6	6	6	6	3	6	6	6	4	4
Hasan U.	102	46	38	38	38	38	41	102	102	85	81	99
Suat U.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	15



Şekil 5.25. 2. Senaryo 1-2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

Tablo 5.54. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar					Toplam
	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	Hasan U.	Suat U.	MW
Ekim	0,19	24,76	9,98	389,35	59,10	483,39
Kasım	0,19	82,38	17,34	364,38	59,10	523,40
Aralık	0,19	98,04	13,95	367,93	59,10	539,21
Ocak	3,47	106,55	13,95	350,82	59,10	533,89
Şubat	0,68	113,52	13,95	376,49	59,10	563,74
Mart	1,37	26,72	15,24	459,94	59,10	562,36
Nisan	1,27	0,00	17,34	395,32	59,10	473,02
Mayıs	0,00	0,00	13,95	282,04	59,10	355,10
Haziran	0,38	30,53	13,95	317,23	59,10	421,20
Temmuz	0,19	13,85	8,41	176,52	59,10	258,07
Ağustos	0,19	9,89	6,21	52,49	46,97	115,76
Eylül	0,19	7,91	3,15	61,04	41,64	113,93



Şekil 5.26. 2.senaryo 1-2 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri

3 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

32. Minimum güç, $P_{Min}=0,75$ MW, ortalama güç, $P_{ort} =7,80$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=18,06$ MW ve yinleme sayısı, $ICOUNT=6$

33. Tablo 5.55’ de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

34. Tablo 5.56’ de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

35. Tablo 5.57’ de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

36. Şekil 5.27’ de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,

37. Şekil 5.28’ de, toplam aylık güç değeri

38. Tablo 5.58’ de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.55. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

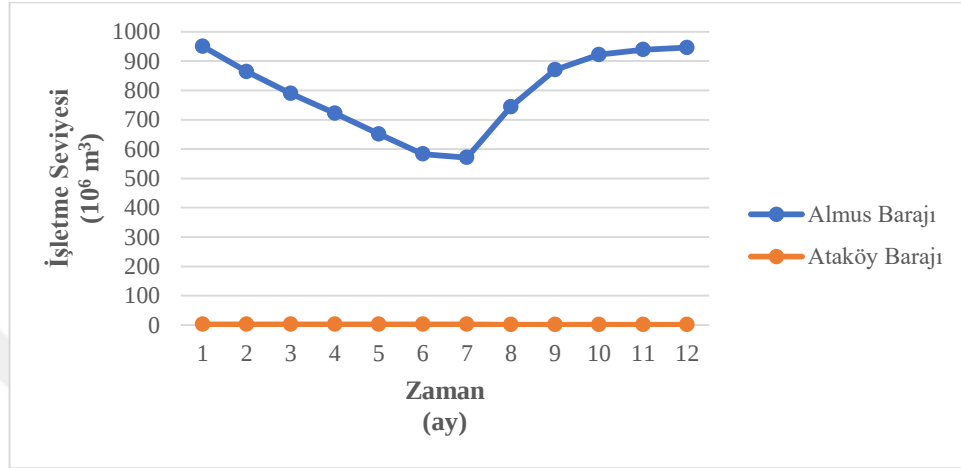
Barajlar ($10^6 m^3$)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	103	103	103	103	103	103	11	6	7	8	8	9
Ataköy	70	70	70	70	70	70	13	7	8	9	9	9

Tablo 5.56. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar ($10^6 m^3$)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ataköy	34	34	34	34	34	34	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.57. 2. Senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

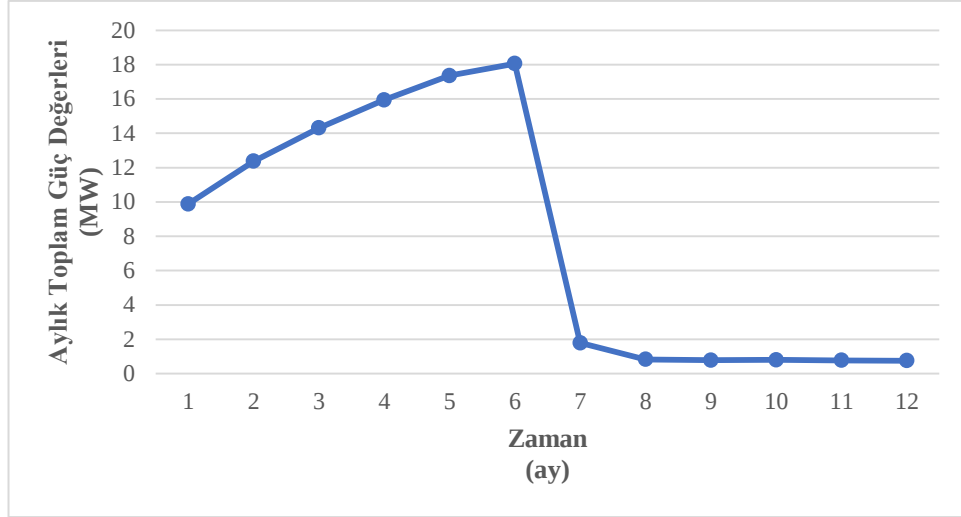
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	950	864	789	722	651	583	571	744	870	922	939	946
Ataköy	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1



Şekil 5.27. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

Tablo 5.58. 2.senaryo 3 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	Almus	Ataköy	MW
Ekim	9,66	0,22	9,88
Kasım	12,15	0,22	12,37
Aralık	14,09	0,22	14,31
Ocak	15,73	0,22	15,95
Şubat	17,15	0,22	17,36
Mart	17,84	0,22	18,06
Nisan	1,75	0,04	1,79
Mayıs	0,74	0,09	0,83
Haziran	0,68	0,10	0,78
Temmuz	0,69	0,11	0,80
Ağustos	0,66	0,11	0,77
Eylül	0,72	0,03	0,75



Şekil 5.28. 2.senaryo 3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri

Sistemdeki toplam;

39. Minimum güç, $P_{Min}=114,68$ MW, ortalama güç, $P_{ort}=419,73$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=581,10$ MW

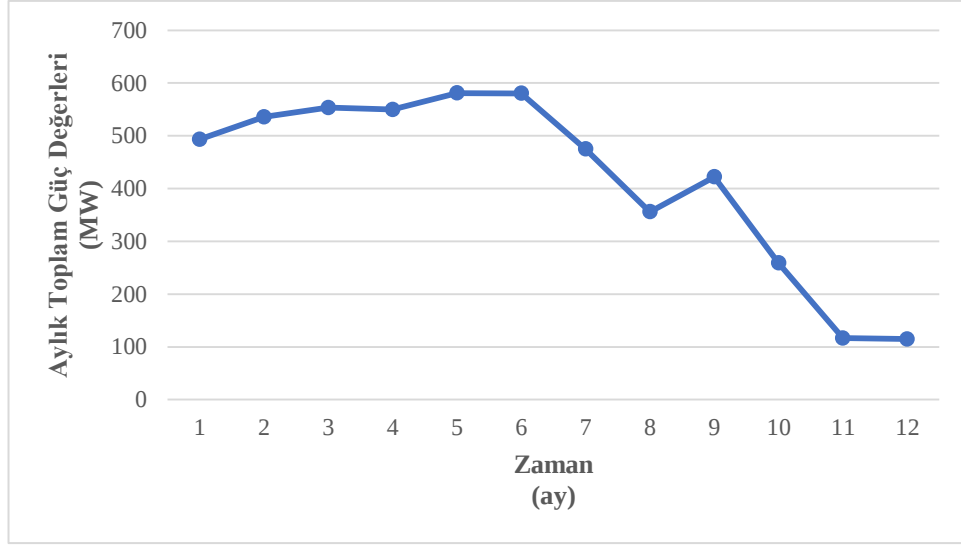
40. Şekil 5.29' de, toplam aylık güç değeri

41. Tablo 5.59' de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.59. 2.senaryo sistemdeki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	1-2 numaralı	3 numaralı	MW
Ekim	483,39	9,88	493,27
Kasım	523,40	12,37	535,77
Aralık	539,21	14,31	553,52
Ocak	533,89	15,95	549,84
Şubat	563,74	17,36	581,10
Mart	562,36	18,06	580,42
Nisan	473,02	1,79	474,81
Mayıs	355,10	0,83	355,93
Haziran	421,20	0,78	421,98
Temmuz	258,07	0,80	258,87
Ağustos	115,76	0,77	116,52
Eylül	113,93	0,75	114,68



Şekil 5.29. 2.senaryo 3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri

Senaryo 3 için;

1 ve 3 numaralı hatların çalıştırılmasıyla;

42. Minimum güç, $P_{Min}= 126,32$ MW, ortalama güç, $P_{ort} =353,32$ MW, maksimum güç, $P_{Maks}=514,54$ MW ve yineleme sayısı, ICOUNT= 8

43. Tablo 5.60’ de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

44. Tablo 5.61’ de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

45. Tablo 5.62’ de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,

46. Şekil 5.30’ de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,

47. Şekil 5.31’ de, toplam aylık güç değeri

48. Tablo 5.63’ de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.60. 3. Senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

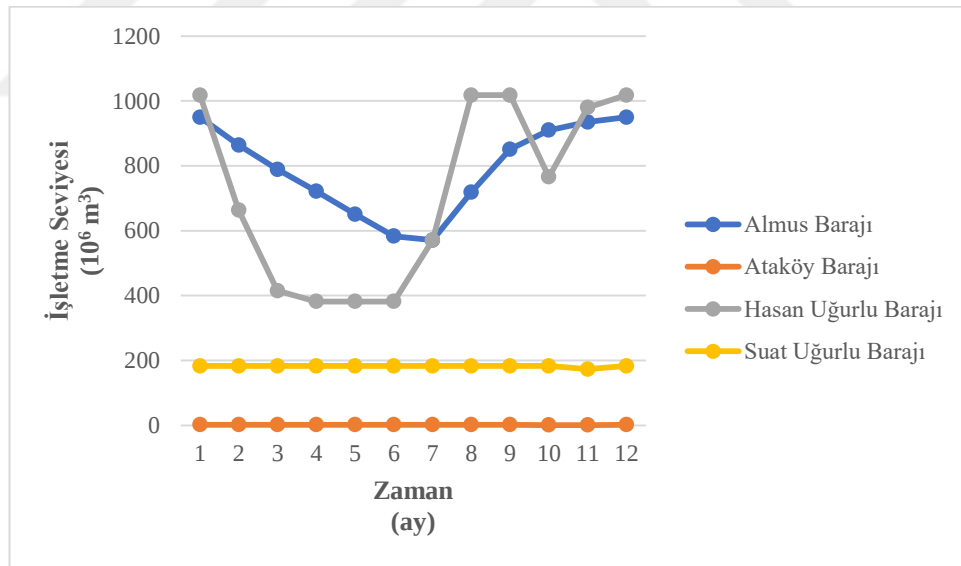
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	103	103	103	103	103	103	36	0	0	0	0	13
Ataköy	70	70	70	70	70	70	70	70	61	26	15	27
Hasan U.	1082	1082	871	799	826	1082	1082	1082	1082	224	273	288
Suat U.	573	573	573	573	573	573	573	573	573	553	500	480

Tablo 5.61. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ataköy	51	62	70	66	69	125	151	63	0	0	0	0
Hasan U.	0	0	0	0	0	0	563	568	0	0	0	0
Suat U.	737	812	638	551	612	1229	2350	2190	1081	0	0	0

Tablo 5.62. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

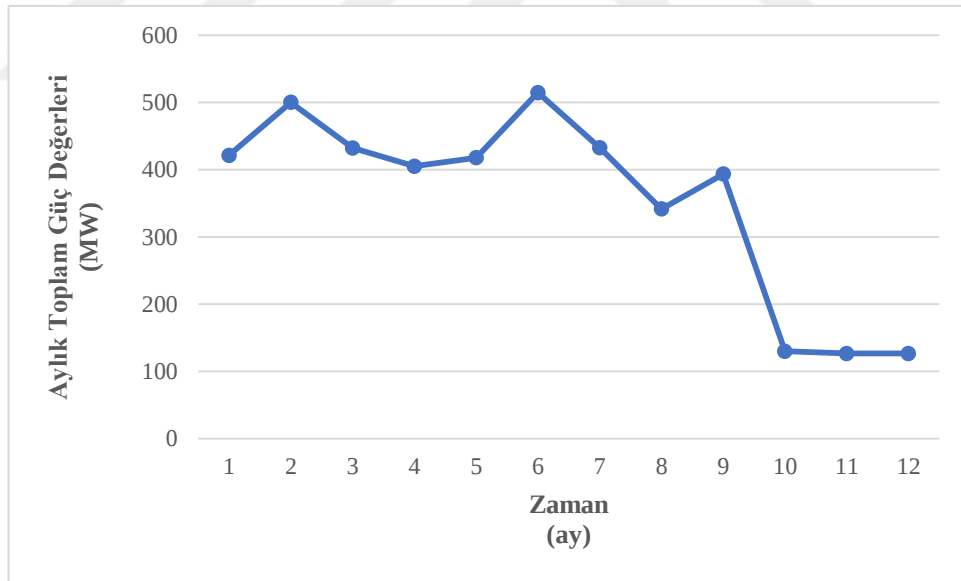
Barajlar (10^6 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Almus	950	864	789	722	651	583	571	719	851	910	935	950
Ataköy	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
Hasan U.	1018	663	415	382	382	382	571	1018	1018	766	980	1018
Suat U.	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	173	183



Şekil 5.30. 3. senaryo 1-3 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

Tablo 5.63. 3. senaryo 1-3 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar (MW)				Toplam
	Almus	Ataköy	Hasan U.	Suat U.	MW
Ekim	9,66	0,22	351,23	60,15	421,25
Kasım	12,15	0,22	427,46	60,15	499,98
Aralık	14,09	0,22	357,58	60,15	432,04
Ocak	15,73	0,22	328,93	60,15	405,03
Şubat	17,15	0,22	340,05	60,15	417,56
Mart	17,84	0,22	436,33	60,15	514,54
Nisan	5,81	0,22	366,38	60,15	432,55
Mayıs	0,00	0,22	281,07	60,15	341,43
Haziran	0,00	0,19	332,94	60,15	393,28
Temmuz	0,00	0,32	70,37	58,88	129,58
Ağustos	0,00	0,05	73,04	53,24	126,33
Eylül	1,03	0,08	74,81	50,39	126,32



Şekil 5.31. 3.senaryo 1-3 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri

2 numaralı hattın çalıştırılmasıyla;

49. Minimum güç, $P_{Min} = 8,89$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 64,92$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 182,38$ MW ve yineleme sayısı, $ICOUNT = 9$

50. Tablo 5.64' de, barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

51. Tablo 5.65' de, barajlardan dolu savaktan bırakılan su miktarları,

52. Tablo 5.66’ de, barajlardaki aylık normal işletme seviyeleri,
 53. Şekil 5.32’ de, barajlardaki, aylık normal işletme seviyeleri,
 54. Şekil 5.33’ de, toplam aylık güç değeri
 55. Tablo 5.67’ de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.64. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan enerji üretimi için bırakılan akım miktarları

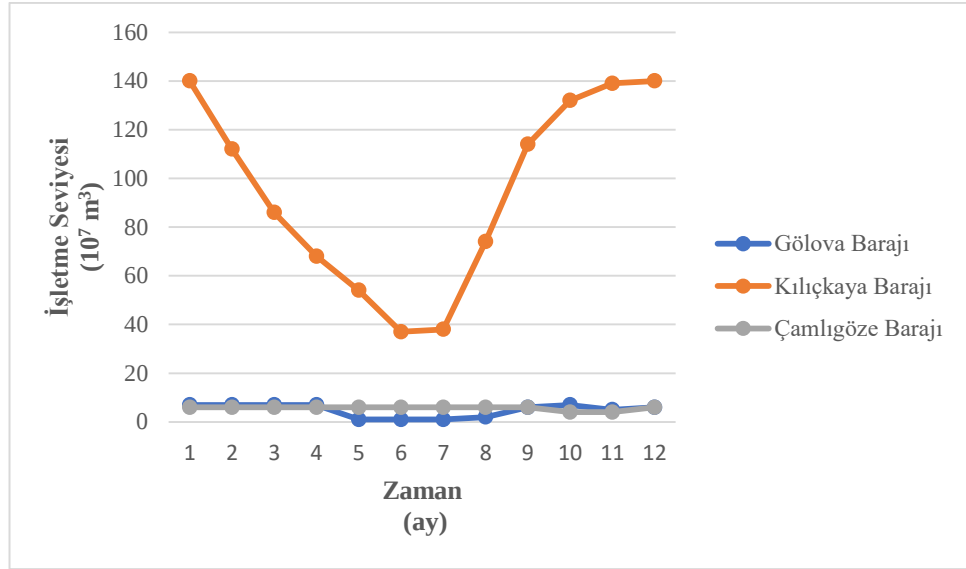
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	1	1	1	7	1	2	3	0	1	3	0	0
Kılıçkaya	33	33	27	27	25	18	13	0	0	2	3	3
Çamlığöze	33	33	33	33	33	33	33	33	20	9	6	7

Tablo 5.65. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlardan dolu savaktan bırakılan akım miktarları

Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kılıçkaya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Çamlığöze	5	7	3	1	0	3	27	8	0	0	0	0

Tablo 5.66. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

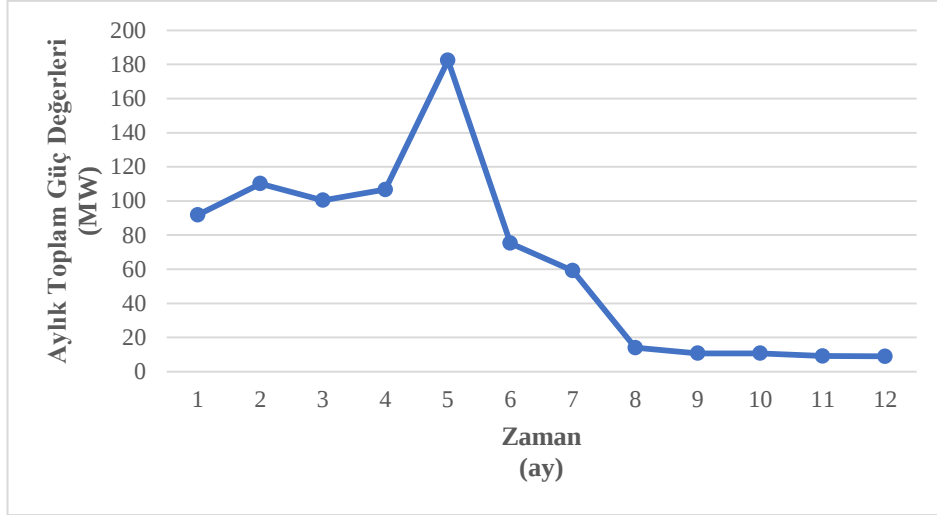
Barajlar (10^7 m^3)	Aylar											
	E	K	A	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E
Gölova	7	7	7	7	1	1	1	2	6	7	5	6
Kılıçkaya	140	112	86	68	54	37	38	74	114	132	139	140
Çamlığöze	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	6



Şekil 5.32. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajlarda aylık normal işletme seviyeleri

Tablo 5.67. 3.senaryo 2 numaralı hattaki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar			Toplam
	Gölova	Kılıçkaya	Çamlığöze	MW
Ekim	0,19	77,68	13,95	91,82
Kasım	0,19	95,96	13,95	110,11
Aralık	0,19	86,21	13,95	100,35
Ocak	3,47	89,28	13,95	106,70
Şubat	0,68	83,53	98,17	182,38
Mart	1,37	59,96	13,95	75,28
Nisan	1,90	43,24	13,95	59,09
Mayıs	0,00	0,00	13,95	13,95
Haziran	0,19	0,00	10,51	10,70
Temmuz	0,91	4,18	5,59	10,69
Ağustos	0,00	5,93	3,15	9,09
Eylül	0,00	5,93	2,96	8,89



Şekil 5.33. 3.senaryo 2 numaralı hattaki aylık toplam güç değerleri

Sistemdeki toplam;

56. Minimum güç, $P_{Min} = 135,21$ MW, ortalama güç, $P_{ort} = 411,23$ MW, maksimum güç, $P_{Maks} = 610,08$ MW

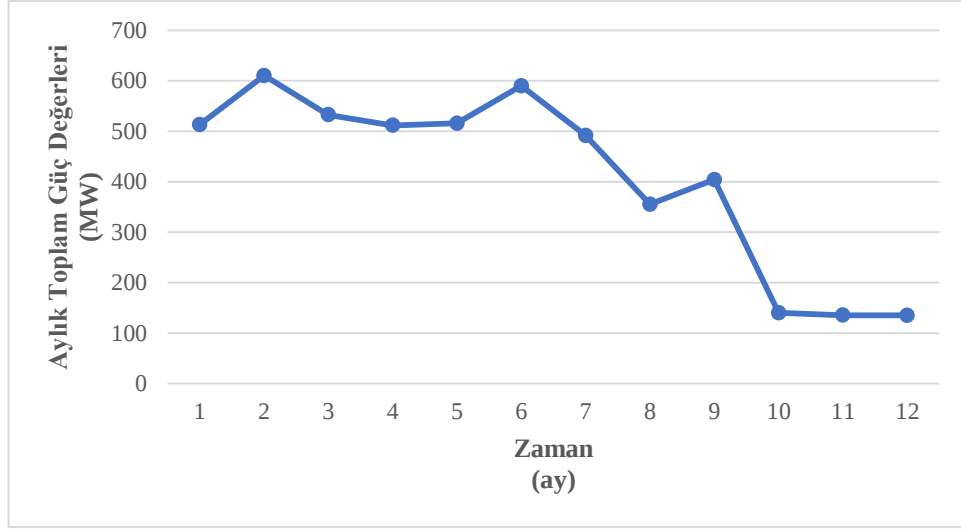
57. Şekil 5.34' de, toplam aylık güç değeri

58. Tablo 5.68' de, barajların aylık güç değerleri

olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.68. 3.senaryo sistemdeki barajların aylık güç değerleri

Aylar	Barajlar		Toplam
	1-3 numaralı	2 numaralı	MW
Ekim	421,25	91,82	513,07
Kasım	499,98	110,11	610,08
Aralık	432,04	100,35	532,39
Ocak	405,03	106,70	511,73
Şubat	417,56	98,17	515,72
Mart	514,54	75,28	589,82
Nisan	432,55	59,09	491,64
Mayıs	341,43	13,95	355,39
Haziran	393,28	10,70	403,98
Temmuz	129,58	10,69	140,27
Ağustos	126,33	9,09	135,42
Eylül	126,32	8,89	135,21



Şekil 5.34. 3.senaryo sistemdeki 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 $P_{ort} = 419,73$ MW olarak 2.senaryodan elde edilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nde barajların ortalama gücün (P_{ort}) bulunması için Denklem (5.2)' deki gibi; (III. DSİ Hidroloji Semineri, 1979),

$$P_{ort} = 3,08 \cdot 10^{-3} q_{ort} \cdot \sum_{i=1}^5 h_{imaks} \quad (5.2)$$

ifadesi verilmektedir. Ortalama akım, q_{ort} , Denklem (5.3)'deki gibi;

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

şeklinde tanımlanmıştır. Burada,

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

q_{iort} : Her i-barajında, aylık ortalama akım (10^6 m^3)

göstermektedir.

Tablo 5.69. Yeşilırmak Havza’sındaki 1-2 numaralı hattaki barajların ortalama güç değerleri, P_{ort} , (MW)

Barajlar	q_{iort}	h_{imaks}	$\Sigma q_{iort}.h_{iort}$	q_{ort}	Σh_{imaks}	$P_{ort}(MW)$
Gölova	15,23	19,3	294	318	309,5	302,97
Kılıçkaya	134,67	100	13467			
Çamlıgöze	144,67	28,2	4080			
Hasan U.	496,59	128,5	63812			
Suat U.	498,91	33,5	16713			

Tablo 5.70. Yeşilırmak Havza’sındaki 3 numaralı hattaki barajların ortalama güç değerleri, P_{ort} , (MW)

Barajlar	q_{iort}	h_{imaks}	$\Sigma q_{iort}.h_{iort}$	q_{ort}	Σh_{imaks}	$P_{ort}(MW)$
Almus	46,64	72,9	3400	49	94,8	14,29
Ataköy	56,64	21,9	1240			

Tablo 5.69 ve Tablo 5.70’ de barajlara ait verilen verilerden, sistemin toplam ortalama gücü, $P_{ort} = 317,26$ MW olarak elde edilmiştir. Buna göre, uzun dönemli işletmede, aylık ortalama akımlar kullanılarak toplam enerjinin enbüyüklenmesi optimizasyonunda elde edilen ortalama güç $P_{ort} = 419,73$ MW, Denklem (5.2) ile elde edilen değerden % 32 (1,32 katı) kadar daha büyüktür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok barajlı sistemlerde çok amaçlı optimal işletme için, bir akarsu havzasında, birbirine çeşitli şekillerde bağlanmış barajlardan oluşan bir su kaynakları sistemi bütün değişkenleriyle matematiksel olarak tanımlanmış ve uzun süreli işletme modeli kurulmuştur. Bu model 3 senaryoda ele alınmıştır. Ana ve tali kol üzerindeki barajlar gruplandırılarak numaralandırılmıştır. Suat Uğurlu ve Hasan Uğurlu 1 nolu hattaki barajlar, Çamlığöze, Kılıçkaya ve Gölova 2 nolu hattaki barajlar, Ataköy ve Almus ise 3 nolu hattaki barajlardır.

1. senaryo: 2 ve 3 nolu hatların kritik dönem akımları ve ortalama akımlarla ayrı ayrı çalıştırılıp daha sonra 1 nolu hatta eklenerek tekrardan çalıştırılması,
2. senaryo: 1 ve 2 nolu hatların birlikte çalıştırılıp daha sonra 3 nolu hatta eklenerek tekrardan çalıştırılması,
3. senaryo: 1 ve 3 nolu hatların birlikte çalıştırılıp 2 nolu hatta eklenerek tekrardan çalıştırılması,

şeklinde. Kurak dönem akımları göz önüne alınarak güvenilir güç değerleri hesaplanmakta ve bulunan güvenilir güç değeri çalışmada kısıt olarak kullanılıp aylık ortalama akımlar ile ortalama güç değerleri elde edilmiştir.

Kurulan modele göre elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir:

1. Uzun süreli planlama için yapılan işletme optimizasyonunda, aylık akımlar kullanılarak güvenilir gücün ve toplam enerjinin en büyüklenmesinde elde edilen optimal işletme seviyelerine bakıldığında, bütün senaryolarda Hasan Uğurlu Barajı'na ait işletme seviyesi, işletmeyi yöneten ve yönlendiren bir durumdadır. Elde edilen aylık minimum işletme seviyelerine bakıldığı zaman, en büyük faydalı hacme sahip olan barajlardaki işletme seviyelerindeki değişim güvenilir gücün enbüyüklenmesinde etkili olmaktadır.

2. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, her bir senaryodan çıkan sonuç karşılaştırılarak, kritik dönemin aylık akımları ile bulunan güvenilir güç değeri $P_G=119,140$ MW olarak en büyük 3. senaryodan elde edilmektedir. DSİ formülüyle de güvenilir güç değeri hesaplanmış ve buradan bulunan güvenilir güç değeri $P_G=119,720$ MW' dır. Bu elde edilen güvenilir güç, DSİ Genel Müdürlüğü' nün kullandığı yaklaşıma göre elde edilen güvenilir güç değeri ile yakın çıkmıştır.
3. Uzun süreli planlama için işletme optimizasyonu modelinde, her bir senaryodan çıkan sonuç karşılaştırılarak kurak dönemde elde edilen güvenilir güç, modelde kısıt olarak kullanılmakta, buharlaşma miktarlarının gözetildiği ortalama akımlar ile toplam enerji en büyüklenmekte ve ortalama güç $P_{ort}=419,726$ MW olarak 2.senaryodan elde edilmektedir. DSİ formülüyle de ortalama güç değeri elde edilmiş olup bulunan ortalama güç değeri $P_{ort}=317,260$ MW' tır. Bu elde edilen ortalama güç, DSİ Genel Müdürlüğü' nün kullandığı yaklaşıma göre elde edilen ortalama güçten % 32 daha büyüktür.
4. İşletme çalışmasının sonucuna bağlı olarak toplam enerji büyük çıkmıştır. Sistemin tek tek değil etkileşimli çalıştırılmasıyla bir baraj daha yapılmasına gerek kalmamış ve gereksiz harcamadan kaçınılmıştır.
5. DSİ formülüyle hesaplanan güç değerlerinde tek değer elde edilmektedir. Buna karşın programlama ile her ay için güç değeri elde edilmektedir. Dönem içerisindeki ayların birbirleri ile kıyaslanabilmesi sağlanabilmekte bu şekilde her ay için optimum işletim sağlanmaktadır.
6. Dolusavaktan gereksiz su bırakılmadığı için model düzgün bir şekilde çalışmıştır.

İleriki çalışmalarda içme suyu, sulama, kuraklık ve taşkın kontrol gibi diğer amaçlar da gözetilerek gerçek zamanlı işletme modeli kurulabilir. Farklı şekilde birbirlerine bağlı olan çok barajlı sistemler için optimizasyon modeli kurularak senaryolarla karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

Anagnostopoulos J. S., Papantonis D. E., Optimal Sizing of a Run of River Small Hydropower Plant, *Energy Conversion and Management*, 2007, **48**(10), 2663–2670.

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

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

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

De Ladurantaye D., Gendreau M., Potvin J.Y., Optimizing Profits from Hydroelectricity Production, *Computers & Operations Research*, 2009, **36**, 499-529.

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

Haddad O., Moradi-Jalal M., Mariño M. A., Design–operation Optimisation of Run of River Power Plants, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Water Management*, 2011, **164**(9), 463–475.

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

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

Huang W., Murray C., Kraus N., Rosati J., Development of a Regional Neural Network for Coastal Water Level Predictions, *Ocean Engineering*, 2003, **30**(17), 2275–2295.

Jacobson H., Mayne Q., *Differential Dynamic Programming*, Elsevier, New York, 1970.

Jones L., Willis R., Finney B., Water resources systems planning: Differential dynamic programming models, *Proc. Water Forum.86 (ASCE)*, Reston, USA, 16-18 March 1986.

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

Kangrang A., Lokham C., Optimal Reservoir Rule Curves Considering Conditional Ant Colony Optimization with Simulation Model, *Journal of Applied Sciences*, 2013, **13**(1), 263-267.

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

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

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

Loucks D. P., Beek E. V., *Water Resources System Planning and Management*, Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2005.

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

Murray D., Yakowitz S., Constrained Differential Dynamic Programming and Its Application to Multi-reservoir Control, *Water Resources Research*, 1979, **15**(5), 1017-1027.

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

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

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

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

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

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

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

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

Shim K., Fontane D., Labadie J., Spatial Decision Support System for Integrated River Basin Flood Control, *J. Water Resources Planning and Management*, 2002, **128**(3), 190-201.

Teegavarapu R.S.V., Simonovic S. P., Simulation of Multiple Hydropower Reservoir Operations Using System Dynamics Approach, *Water Resources Management*, 2014, **28**, 1937-1958.

Temelsu, *Yeşilirmak Havzası Master Planı*, 1. baskı, DSİ, Ankara, 2016.

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

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu Türk Milli Komitesi, *Türkiyedeki Barajlar*, 1. baskı, DSİ Vakfı, Ankara, 2014.

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

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

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

Yi J., Labadie J., Stitt S. Dynamic Optimal Unit Commitment and Loading in Hydropower Systems, *J. Water Resources Planning and Management*, 2003, **129**(5), 388-398.

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

Yurtal R., Çoklu baraj sistemlerinin enerji optimizasyonu için geliştirilmiş etkin bir artırılmış dinamik programlama modeli ve aşağı Seyhan Havzası'na uygulanması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1993.

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

Wurbs W. A., Reservoir System Simulation and Optimization Models, *J. Water Resources Planning and Management*, 1993, **119**(4), 455-472.

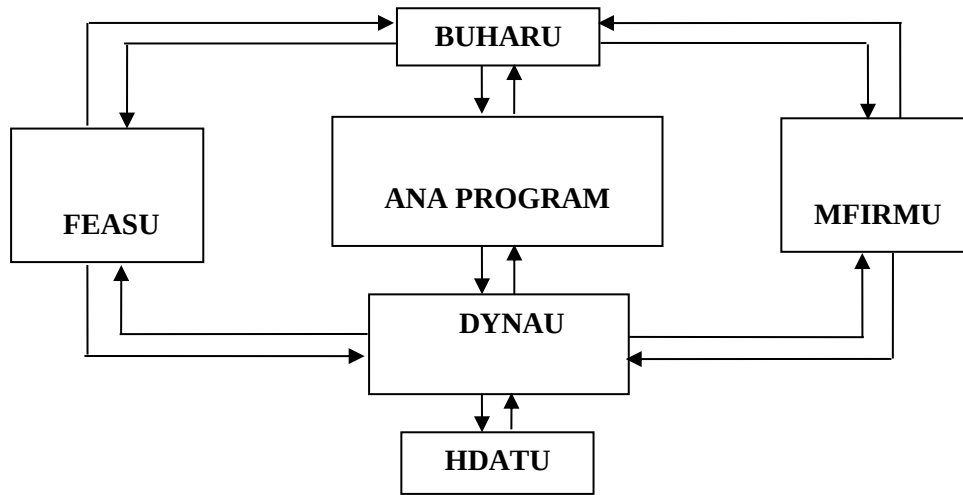


Ek-A

UZUN DÖNEMLİ İŞLETME MODELİ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI

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

Bilgisayar programı, bir ana program ve 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.



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

Ana programda ve alt programlarda kullanılan değişkenler aşağıda verildiği gibidir.

M :Baraj sayısı

KM :Optimizasyon süresindeki dönem sayısı (ay)

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

ITRM :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:

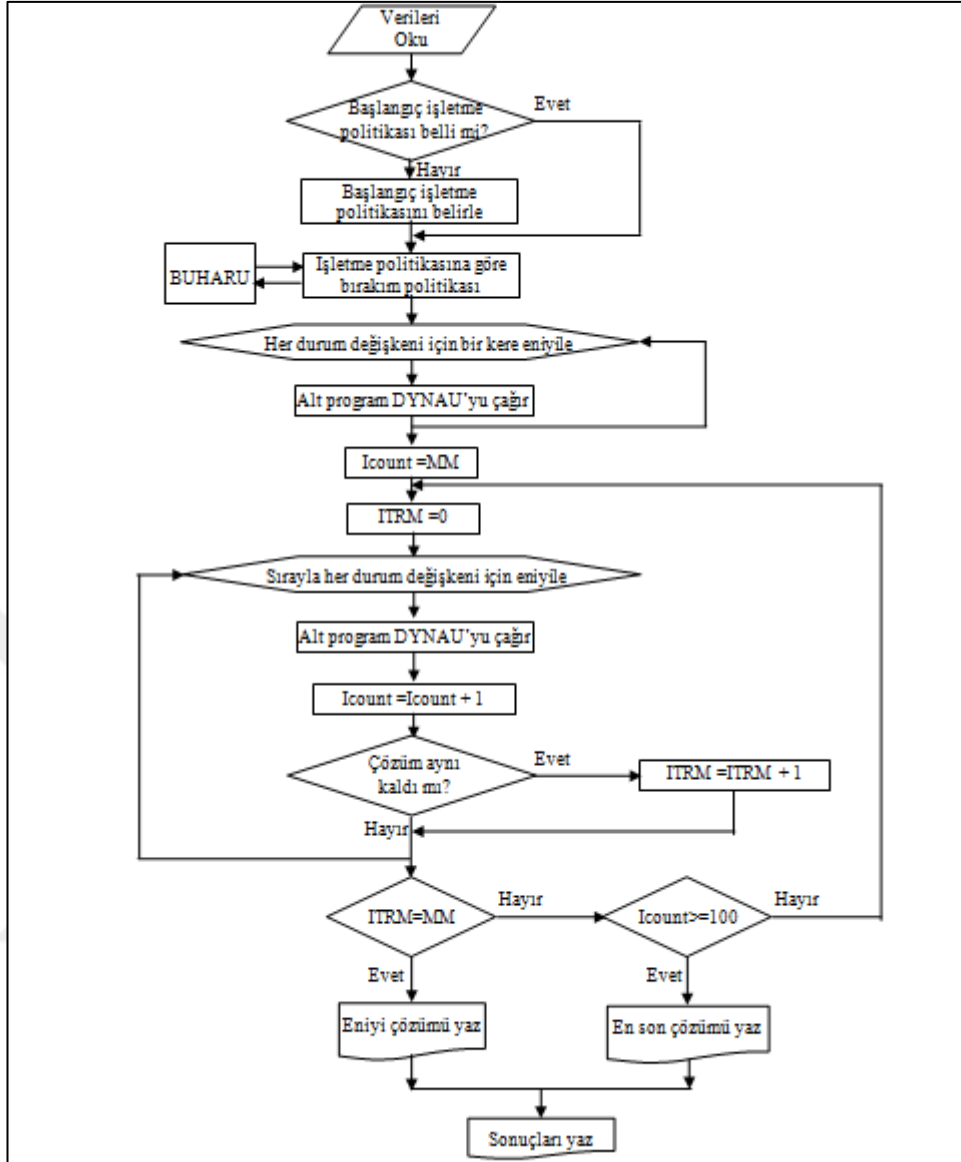
1.Verilerin okunması işlemi

- 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 genelleştirilmiş akış şeması

3. Başlangıç politikası kullanılarak su bırakım miktarlarının hesaplanması işlemi

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

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

olmakta, buharlaşma miktarını belirlemek ve buna göre depolanmış su seviyeleri miktarını ayarlamak için alt program BUHARU' ya gidilip ana programa döndükten sonra, aşağıdaki denklemde enerji üretimi için bırakılan su miktarı,

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

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

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

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

bu durumda buradaki fazla su miktarı dolu savaktan bırakılacak,

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

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

şeklinde olup, enerji için bırakılan maksimum su miktarını aşmıyorsa,

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

olarak başlangıçta öngörülen değer geçerli olacaktır.

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 verilmektedir. ($i=JS$:durum değişkeni 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,

$$IQS=IQ$$

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.

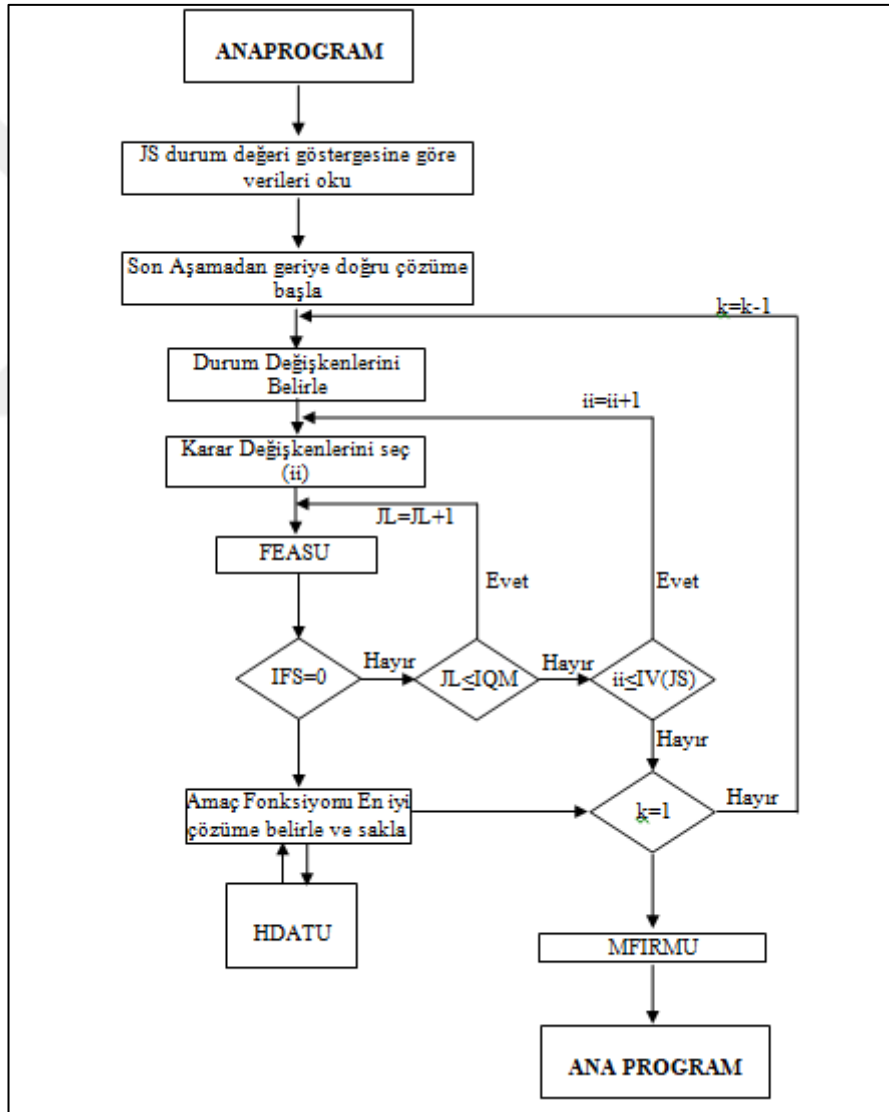
6. Son işlem ise, sonuçların *.mat uzantılı dosya olarak saklanması ve aynı zamanda ekrana yansıtılması şeklinde gerçekleştirilmektedir.

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 DYNALU için genelleştirilmiş akış şeması

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

olmakta ve bu değere göre, aşama faydası

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

olarak hesaplanmakta ve amaç fonksiyonu ortamında değerlendirilmektedir.

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

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

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

şeklinde olup, bu değerler IC değeri ile saklanmaktadır.

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

İkinci amaç fonksiyonunda ise, aşama faydası,

$SPI(ii, JL) > PGV$

güvenilir enerji ile karşılaştırılmakta ve sağlıyorsa, aşama faydası

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

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

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

öngörülen minimum aşama faydası ile karşılaştırılmakta ve bunu sağlıyorsa,

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

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

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

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

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

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

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

A.1.2. Feasu (Alt Program)

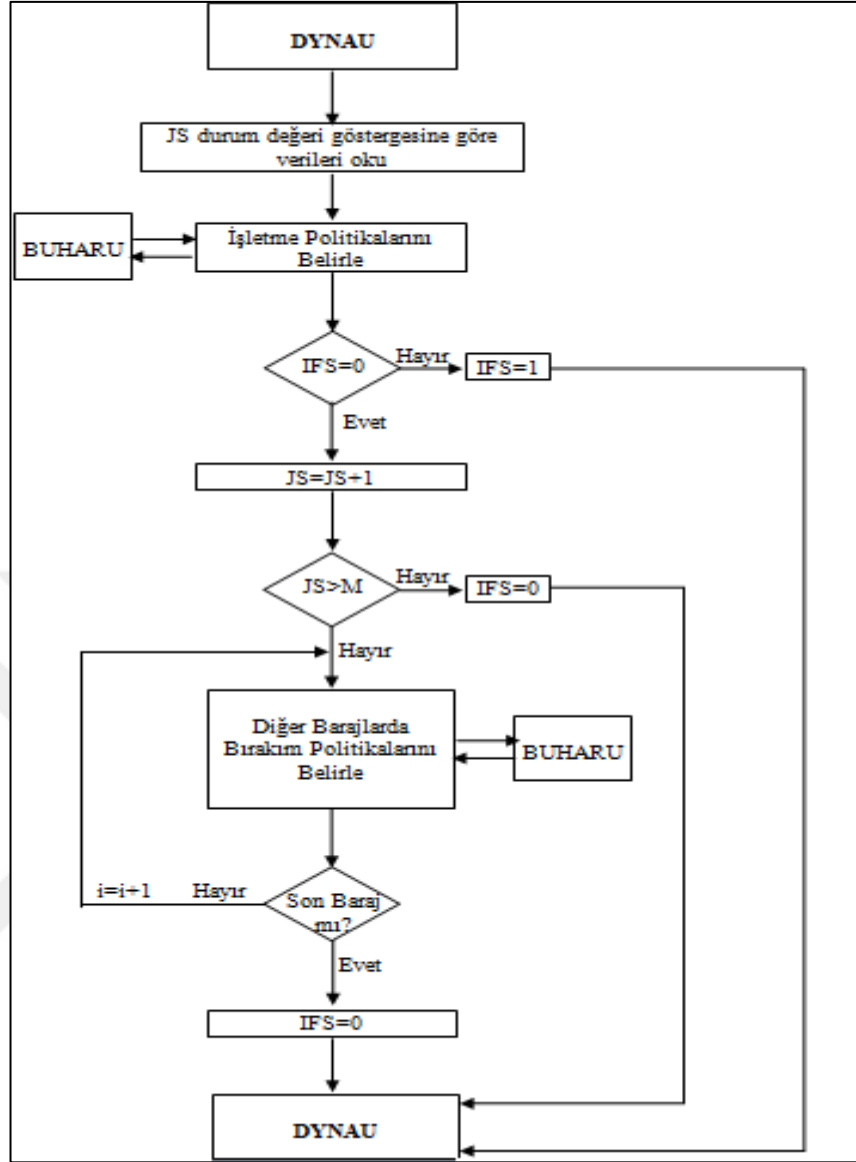
FEASU, DYNAU alt programının çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, bu programda JS-durum değişkeni göstergesine göre seçilen ii-durum değişkeni ve JL-karar değişkeni ikilisinin (IS, IQ) olurlu olup olmadığını belirlemeye yardımcı olan bir programdır. Bu alt programda, JS-durum değeri göstergesi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

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

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

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

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

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

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

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 döndükten sonra,

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

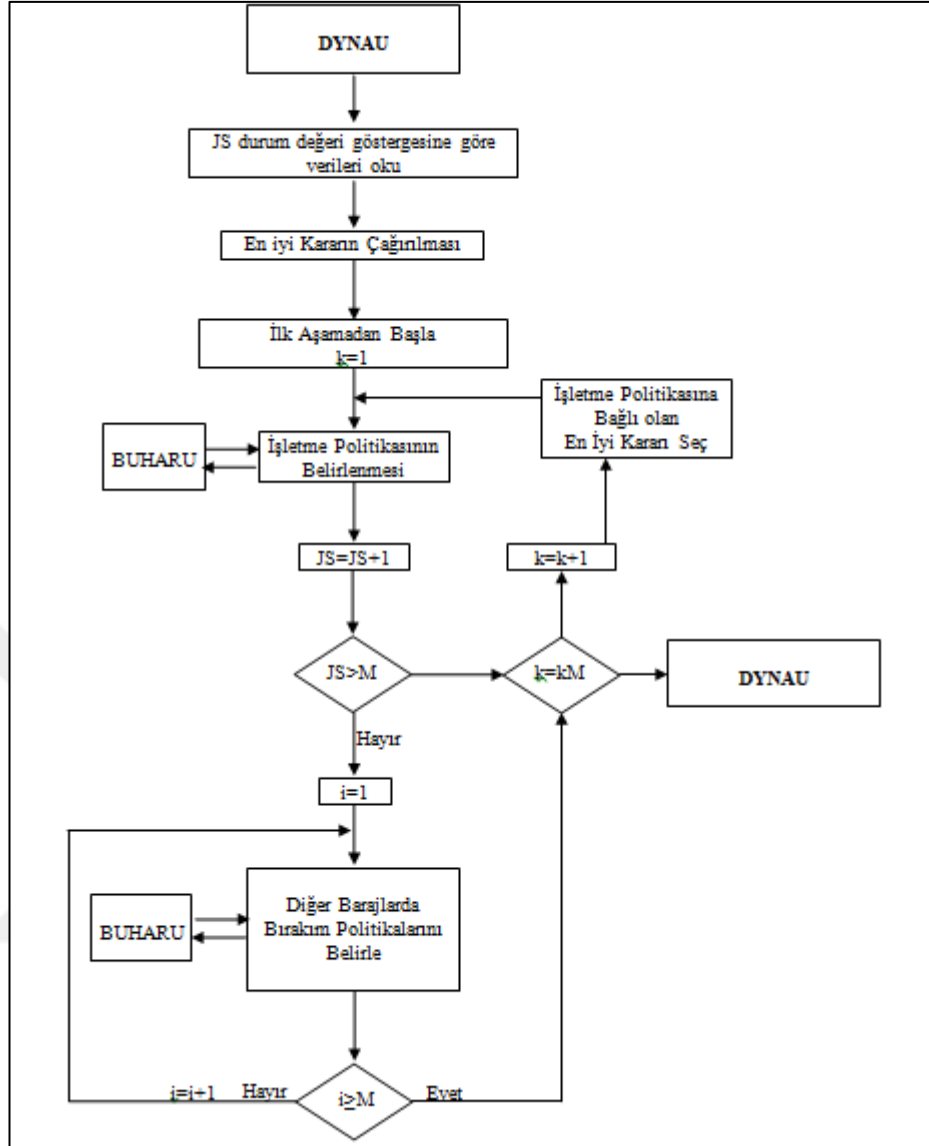
$$IS(JS,k+1)=JF(JS,k)+IS(JS,k)-IQ(JS,k) \text{ (JS=1 ve k=1 için)}$$

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

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

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

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



Şekil A.5. Alt program MFIRMU için 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,

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

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

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

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

olarak elde edilmektedir. Bu 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)

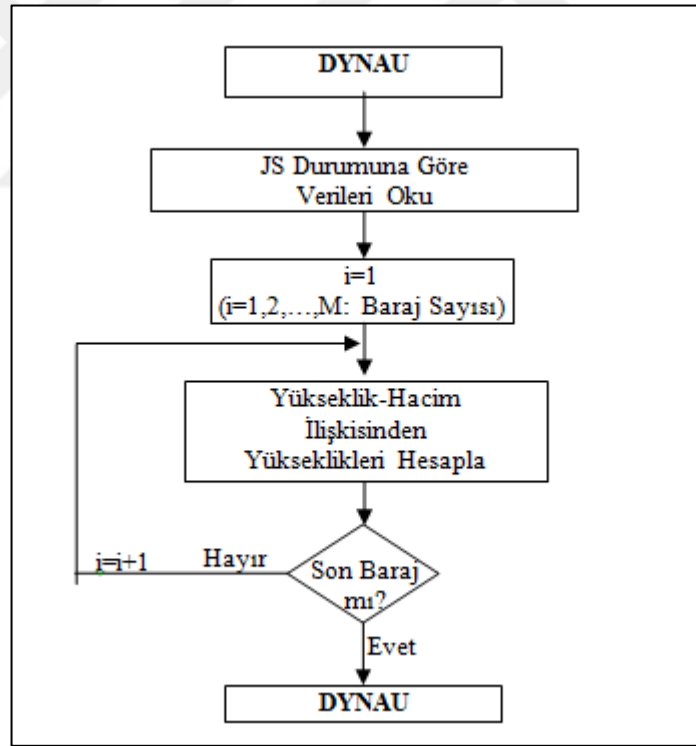
Alt program DYNAU' nun çalışması esnasında çağrılan bir alt program olup, maksimum ve minimum depolanan su miktarlarını, seviye-hacim arasındaki ilişkisi gösteren denklemler içerisinde kullanarak, bütün barajlara ait yükseklik matrisini hesaplayan bir yapıya sahiptir.

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_{xii} boyutunda yükseklik matrisinin oluşturulması için alt program

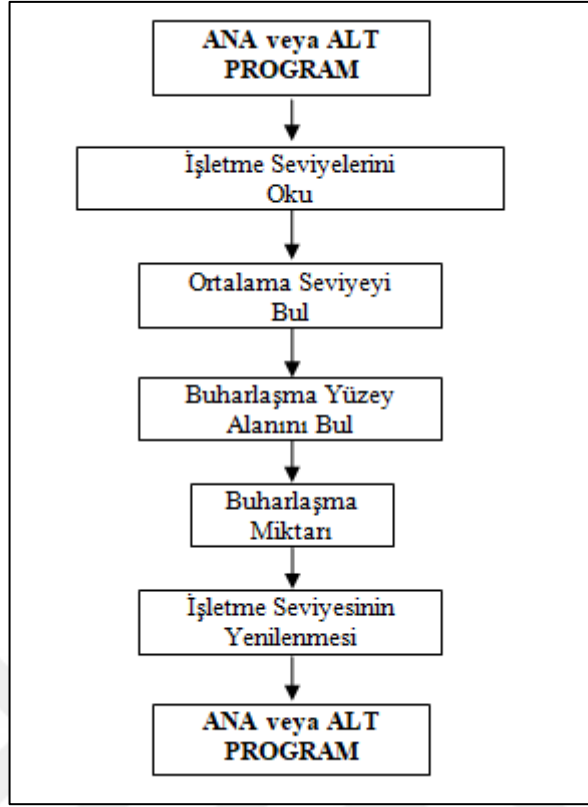
HYESİLU' ya minimum ve maksimum depolanan su miktarları değerleri girdi olarak gönderilmektedir. Bu alt programda, bu değerler ile her bir barajda bulunan su miktarlarına karşılık gelen yükseklik değerleri, yükseklik-hacim eğrisinin oluşturduğu denklem ile hesaplanabilmektedir. Buradan alt program DYNAU'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

A.1.5. Buharu (Alt Program)

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



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



Şekil A.7. Alt program BUHARU için genelleştirilmiş akış şeması

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

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

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

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

olarak belirlenmekte ve bu işlemden sonra çağrılan programa geri dönülmektedir.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Opan M., **Bacaksız E.**, Yeşilırmak Havza'sında Bulunan Çok Barajlı Bir Su Kaynakları Sisteminde Optimal Enerji Üretimi, *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi*, Bursa, Türkiye, 22-24 Mart 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Muğla’da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Atatürk İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Gazi Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2014 yılında Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

